

**МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ І НАУКИ УКРАЇНИ**  
**ХАРКІВСЬКИЙ НАЦІОНАЛЬНИЙ УНІВЕРСИТЕТ**  
**МІСЬКОГО ГОСПОДАРСТВА імені О. М. БЕКЕТОВА**

***І. І. КАПЦОВ***  
***В. Г. КОТУХ***  
***Ю. В. ПАХОМОВ***

***ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ***  
***ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ***  
***І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ***

***МОНОГРАФІЯ***

**Харків**  
**ХНУМГ ім. О. М. Бекетова**  
**2016**

УДК 692.2:658.58:621.643

ББК 39.76+0.83

К20

***Автори:***

***Капцов Іван Іванович***, доктор технічних наук, професор;

***Котух Володимир Григорович***, кандидат технічних наук, доцент;

***Пахомов Юрій Васильович***, асистент

***Рецензенти:***

***Ільченко Борис Самуїлович***, доктор технічних наук, професор кафедри експлуатації газових і теплових систем Харківського національного університету міського господарства імені О. М. Бекетова;

***Мірошник Марина Анатоліївна***, доктор технічних наук, професор кафедри спеціалізованих комп'ютерних систем Українського державного університету залізничного транспорту;

***Редько Олександр Федорович***, завідувач кафедри, доктор технічних наук, професор кафедри теплогазопостачання, вентиляції та використання теплових вторинних енергоресурсів Харківського національного університету будівництва та архітектури.

*Рекомендовано до друку*

*Вченою радою Харківського національного університету  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
протокол № 8 від 26 лютого 2016 р.*

**Капцов І. І.**

К20 Технологія ремонту газового обладнання і трубопровідних систем : монографія / І. І. Капцов, В. Г. Котух, Ю. В. Пахомов ; Харків. нац. ун-т міськ. госп-ва ім. О. М. Бекетова. – Харків : ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016. – 232 с.

ISBN 978-966-695-407-0

Монографія присвячена аналізу теоретичних основ організації і функціонування технологічних систем виробництва й ремонту виробів газового обладнання та трубопровідних систем. Розглянуто актуальні питання технічної підготовки виробництва й відновлення виробів, організаційних основ складання й монтажу, технології деталей і конструкцій, а також контролю під час їхнього виготовлення й ремонту. Подано основи розробки технологічної частини проекту ремонтно-механічних підприємств газових і енергетичних виробництв.

**УДК 692.2:658.58:621.643**

**ББК 39.76+30.83**

ISBN 978-966-695-407-0

© І. І. Капцов, В. Г. Котух, Ю. В. Пахомов, 2016

© ХНУМГ ім. О. М. Бекетова, 2016

## ЗМІСТ

<b>ВСТУП.....</b>	<b>7</b>
 <b>1 ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ.....</b>	 <b>14</b>
1.1 Завдання ремонтної служби. Форми спеціалізації ремонтно-механічних підприємств.....	14
1.2 Організаційні форми технологічного процесу ремонту газового обладнання й трубопровідних систем.....	17
 <b>2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА Й РЕМОНТУ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ.....</b>	 <b>23</b>
2.1 Розрахування надійності технологічних систем за параметрами продуктивності праці.....	23
2.1.1 Технологічні системи з жорстким зв'язком між підсистемами.....	23
2.1.1.1 Одноканальна технологічна система.....	23
2.1.1.2 Багатоканальна технологічна система.....	24
2.1.2 Технологічні системи з потоковою організацією виробництва і ремонту.....	25
2.1.2.1 Аналітичний метод.....	25
2.1.2.2 Метод параметричної рандомізації.....	26
2.1.3 Приклади розв'язання задач.....	32
2.1.4 Задачі для самостійного розв'язання.....	35
2.2 Інженерне розрахування надійності технологічних систем за параметрами якості виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	46
2.2.1 Розрахункові методи визначення показників.....	46
2.2.1.1 Метод випадкових функцій.....	47
2.2.1.2 Метод елементарних похибок.....	47
2.2.2 Дослідно-статистичні методи оцінювання точності технологічних систем.....	48
2.2.2.1 Метод точкових діаграм.....	48
2.2.2.2 Метод миттєвих вибірок.....	50
2.2.2.3 Метод приведених відхилень.....	50
2.2.3 Приклади розв'язання задач.....	52
2.2.4 Задачі для самостійного розв'язання.....	54

<b>3 ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА Й РЕМОНТУ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>56</b>
3.1 Технічна документація ремонтно-механічних підприємств.....	56
3.2 Види робіт щодо технічної підготовки виробництва і ремонту.....	60
3.2.1 Визначення показників технічної підготовки виробництва і ремонту.....	60
3.2.2 Приклади розв'язання задач.....	60
3.3 Моделювання й оптимізація технологічного процесу виробництва та ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	65
3.3.1 Методика моделювання технологічного процесу за допомогою методу планування екстремальних експериментів.....	65
3.3.1.1 Повний факторний експеримент.....	65
3.3.1.2 Дробовий факторний експеримент.....	72
3.3.1.3 Опис майже стаціонарної області.....	75
3.3.1.4 Метод рангової кореляції.....	83
3.3.1.5 Насичені плани.....	85
3.3.1.6 Метод надто насичених планів.....	86
3.3.2 Приклади розв'язання задач.....	91
3.3.3 Задачі для самостійного розв'язання.....	101

<b>4 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ.....</b>	<b>103</b>
4.1 Технологічна підготовка виробництва виробів газового обладнання й трубопровідних систем .....	103
4.2 Забезпечення точності операцій складання виробів газового обладнання і трубопровідних систем .....	106
4.2.1 Розрахування точності складання вихідних параметрів.....	106
4.3 Організаційні основи складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	110
4.3.1 Розрахування техніко-економічних показників складання виробів газового обладнання і трубопровідних систем .....	110
4.3.2 Приклади розв'язання задач.....	115
4.3.3 Задачі для самостійного розв'язання.....	123
4.4 Нормативно-технічна документація виробництва і ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	126
4.5 Технологічне оснащення виробництва і ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	131
4.5.1 Порядок розроблення технологічного процесу ремонту й відновлення виробів.....	131
4.5.2 Особливості розроблення типових технологій ремонту виробів...	134
4.5.3 Основні теоретичні відомості, які використовуються під час технологічного процесу ремонту й відновлення виробів.....	136

4.5.3.1 Вимоги точності щодо складання верстатів.....	136
4.5.3.2 Продуктивність автоматичного технологічного устаткування з числовим програмним керуванням.....	138
4.5.4 Приклади розв'язання задач.....	144
4.5.5 Задачі для самостійного розв'язання.....	147
4.6 Технологія виготовлення деталей і конструкцій виробів газового обладнання й трубопровідних систем .....	147
4.6.1 Приклади розв'язання задач.....	155
4.6.2 Задачі для самостійного розв'язання.....	163
4.7 Статистичний аналіз технологічних операцій складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем.....	168
4.7.1 Основні розрахункові співвідношення.....	168
4.7.2 Приклади розв'язання задач.....	172
4.7.3 Задачі для самостійного розв'язання.....	174

## **5 КОНТРОЛЬ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА І РЕМОНТУ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ..... 175**

5.1 Загальна характеристика контролю.....	175
5.2 Вхідний контроль комплектуючих.....	181
5.3 Собівартість вихідного контролю.....	184
5.4 Приклади розв'язання задач.....	189
5.5 Задача для самостійного розв'язання.....	191

## **6 ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВІ ТА РЕМОНТІ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ..... 192**

6.1 Основні розрахункові співвідношення.....	192
6.2 Приклади розв'язання задач.....	198
6.3 Задачі для самостійного розв'язання.....	202

## **7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ..... 203**

7.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору раціонального способу ремонтну.....	203
--	-----

## **8 ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ ГАЗОЕНЕРГЕТИКИ..... 208**

8.1 Сучасні напрями розвитку ремонтно-механічних підприємств.....	208
8.2 Вихідні дані для проектування ремонтно-механічних підприємств газоенергетики.....	210
8.3 Склад ремонтно-механічного підприємства.....	214

8.4 Базові складники проекту ремонтно-механічного підприємства.....	217
8.5 Етапи проектування ремонтно-механічних підприємств.....	218
8.6 Визначення необхідної кількості технологічного обладнання.....	220
8.7 Визначення площ цеху та їхнє планування.....	223
8.8 Робочий склад цеху та визначення його чисельності.....	226
8.9 Визначення величин технологічних витрат у проектуваному цеху...	226
<b>СПИСОК ДЖЕРЕЛ.....</b>	<b>229</b>

## ВСТУП

Безперебійну роботу газового обладнання і трубопровідних систем неможливо забезпечити без своєчасного та якісного технічного догляду та ремонту.

Аварійні ситуації, обумовлені пошкодженням газового й енергетичного обладнання, що виникають на газопроводах, продуктопроводах та в інших енергетичних комплексах, можуть бути значно меншими або зводитися до мінімуму, якщо ефективно, у повному обсязі та своєчасно проводити ремонтно-відновлювальні роботи. Широка номенклатура газового й енергетичного обладнання, велика протяжність магістральних газових і енерготранспортних трубопроводів, різнотипність енергопостачальних пристроїв, а також систем діагностування та захисту обладнання й трубопроводів актуалізують необхідність узагальнення досягнутих практичних результатів технології ремонту газового обладнання та систем транспортування енергоносіїв.

Відновлення початкових властивостей сучасного газового обладнання та трубопровідних систем, яке здійснюється експлуатаційним виробництвом, передбачає обізнаність із технологіями ремонту виробів. Технологія ремонту газового обладнання та трубопровідних систем – технічна дисципліна, яка має вирішальне значення у формуванні й навчанні спеціаліста газової та енергетичної галузей. Не володіючи достатніми знаннями з технології ремонту, складно спроектувати і, що більше, експлуатувати такий складний комплекс, як газове обладнання й енерготранспортні системи. Вивчення технології ремонту газового обладнання й трубопровідних систем передбачає вирішення таких завдань:

- ознайомлення студентів із методами й способами відновлення початкових властивостей найбільш характерних деталей і агрегатів газоенергетичного обладнання;

– ознайомлення студентів із базовими положеннями основ технології ремонту обладнання;

– підготування наукової бази для більш швидкої адаптації майбутнього спеціаліста до практичної роботи безпосередньо у сфері газової промисловості та енергетики.

Технологія будь-якої галузі промисловості спочатку становить собою суму виробничих навичок фахівців ремонтно-експлуатаційних робіт, тому технологічний процес як механічної, так і іншої обробки є результатом впливу робітника на деталь або агрегат за допомогою станка чи інструмента, зварювального апарата. Саме деталь є основним об'єктом газового обладнання й трубопровідних систем, які розглядаються під час вивчення технології виробництва та ремонту. Дослідження методів і способів відновлення деталей становить головну частину монографії.

Необхідність ремонту газового обладнання та трубопровідних систем не є випадковою. Вона виникла одночасно з появою систем газо- й енергозбереження. Зростання парку газового обладнання й трубопровідних систем спричинило виникнення нової галузі знань – «Технології ремонту газового обладнання та трубопровідних систем».

Технологія ремонту газового обладнання й трубопровідних систем – це такий напрям у науці, який вивчає закономірності процесів відновлення виробів з метою використання цих закономірностей для досягнення необхідної якості процесу відновлювання деталей, вузлів газового обладнання й трубопровідних систем за мінімальної собівартості та безпеки проведення ремонтних робіт.

Одне з головних завдань технології ремонту – вивчення закономірностей перебігу технологічних процесів і визначення тих параметрів, вплив на які найбільш ефективний для інтенсифікації ремонтно-відновлювального процесу.



На відміну від технології матеріалів, технології ремонту не розглядається сутність технологічних методів, а надається їхня порівняльна характеристика з метою вибору за доцільністю використання того чи іншого методу під час розроблення технологічних процесів залежно від певних умов ремонтно-механічного виробництва.

Технології ремонту газового обладнання й трубопровідних систем базуються на досягненнях теоретичних і прикладних наук; їхні положення використовуються відповідно до поставлених загальних і конкретних технологічних завдань.

Ремонтно-механічне виробництво газової і енергетичної галузей промисловості як мережа ремонтних заводів і майстерень виникло давно. Однак, незважаючи на результативність проведення ремонтно-відновлювальних робіт як на газових промислах, так і на газових і енергозберігаючих виробництвах, питання щодо вирішення проблем у цій галузі потребують узагальнення й систематизації. На сьогодні за рівнем застосовуваних технологій ремонтно-механічні підприємства відстають від виготовлювачів газового обладнання й не задовольняють низці випадків потреби експлуатаційників.

Монографія покликана вирішити завдання розвитку й удосконалення ремонтно-механічного виробництва, усунути наявні прогалини у вивченні цієї галузі, сприяти підвищенню рівня організації і технології ремонту газового обладнання й трубопровідних систем.

Ступінь придатності газового обладнання й трубопровідних систем під час використання за призначенням та можливості їхнього технічного обслуговування визначаються експлуатаційними характеристиками, насамперед надійністю й довговічністю машин.

Надійність має два базові складники – конструкційний і виробничий чи технологічний і експлуатаційний. У процесі експлуатації на газове

обладнання й трубопровідні системи впливає багато факторів, які визначають їхню надійність. Такі фактори поділяють на вхідні, керовані й випадкові.

Вхідні фактори пов'язані із проектуванням і виробництвом газового обладнання й трубопровідних систем та можуть сприяти як достатньо високій надійності виробу, так і його низькій якості. До таких факторів належать усі заходи, пов'язані із вибором схемного й конструктивного рішення під час проектування деталей і складання сполучень та вузлів, якості технічного обслуговування й ремонту тощо.

До керованих факторів належать характер прикладання навантажень і взаємодія деталей, сполучень та вузлів обладнання, різні впливи зовнішнього і внутрішнього середовищ, які обумовлюють корозійний стан трубопроводів, технічний стан зварюваних швів газового обладнання й трубопровідних систем в процесі їхньої експлуатації.

Випадковими факторами є позаштатні ситуації на газопроводах і їхніх спорудах: необачність експлуатаційників, яка може спричинити непроварювання, пропалювання та інші дефекти під час зварювання; природні катаклізми – атмосферні опади; потрапляння блискавки в діагностичну систему; абразивів і вологи в трубопроводі; вплив течій тощо.

За характером впливу всі фактори поділяються на конструкційно-технологічні, виробничі й експлуатаційні.

До конструкційно-технологічних факторів належать:

- раціональність конструктивних схем газового обладнання й систем газопостачання;
- кількість і якість комплектувальних елементів;
- правильність вибору матеріалу деталей;
- стандартизація й уніфікація вузлів;
- можливість ремонту, контролю технічного стану всього виробу тощо.

Таким чином, перелічені вище фактори забезпечують надійність, неруйнівність і довговічність вузлів та деталей на заданому рівні за час

розрахункового чи директивного терміну експлуатації. Зі свого боку неруйнівність визначається необхідною міцністю конструкцій (наприклад труб), яка розраховується відповідно до випробувального й робочого тиску продукту, що перекачується (газу, води тощо), а також до впливу зовнішніх силових факторів – опадів, зсувів, впливу течій тощо. Довговічність при вже забезпеченій неруйнівності не може бути досягнута, якщо не враховано тривалі впливи, які зменшують несучу здатність конструкцій. Це корозія, пересування труб у ґрунтах у разі визначення зсувних властивостей, впливів навантажень, які змінюються з часом із більшою або меншою частотою.

На несучу здатність, а отже, і надійність магістральних трубопроводів впливає багато факторів. Дуже складно заздалегідь чітко передбачити, що може бути причиною можливого руйнування трубопроводу, тобто важко визначити кількість цих причин і їх розподіл у часі.

Виробничими факторами є:

- вибір раціональної технології виробництва й ремонту;
- точність технологічних операцій;
- рівень культури виробництва (кваліфікація робітників, якість технологічного обладнання, ступінь автоматизації тощо);
- якість оброблення матеріалів і монтажу систем;
- контроль на усіх етапах виробництва.

До виробничих факторів належать:

- умови експлуатації обладнання й систем транспортування газу;
- планування технічного обслуговування та ремонту;
- рівень досконалості технології ремонту;
- кваліфікація обслуговуючого й ремонтного персоналу;
- контроль і прогнозування технічного стану елементів і обладнання загалом.

Головними причинами зниження рівня надійності й довговічності деталей і вузлів є такі:

- вихід із ладу деталей унаслідок прояву втомних явищ, які виникають під впливом навантажень;
- змінювання розмірів деталей у рухомих сполученнях внаслідок їхньої зношуваності;
- наслідки порушення технології під час проведення зварювально-монтажних робіт під час як будівництва, так і ремонту;
- пікові навантаження й різке коливання температури;
- вихід із ладу окремих деталей і вузлів унаслідок сумарного впливу на них зовнішніх умов, зношуваності, старіння і втомлюваності.

Під час проведення випробувань на зношуваність і довговічність спостерігаються значні розбіжності між значеннями ресурсів газового обладнання і їхніх систем. Ці розбіжності виникають у наслідок різних властивостей металу різних плавок і застосування різних технологічних процесів виготовлення деталей або різних умов монтажу, випробування, експлуатації і ремонту систем газопостачання.

Вплив перелічених факторів можна значно зменшити, за рахунок удосконалення конструкцій, покращення технології виготовлення й монтажу, а також вдосконалення методів експлуатації і ремонту.

Приймання та оцінка якості застосовуваних матеріалів, ремонтно-монтажних робіт, відповідність виготовлених конструкцій проекту, оцінка міцності споруд можуть бути встановлені тільки за допомогою випробувань, тобто шляхом вимірювання певної сукупності технічних показників. Взаємозамінність виробів, яка має вирішальне значення в усіх галузях газової та енергетичної промисловості й будівництва, забезпечується лише за умови поєднання вимірювань на усіх етапах промислового й будівельного виробництва.

Розвиток технології газового обладнання й трубопровідних систем обумовлений газифікацією міст і населених пунктів. Старіння газотранспортних систем, їх зношування примусили шукати нові шляхи й методи підтримання обладнання в працездатному й безпечному стані, щоб збільшити термін його використання.

Технологія ремонту обладнання як наука про ремесло на сьогодні набула значення самостійної дисципліни. Історично розвиток технології ремонту газового обладнання й трубопровідних систем можна порівняти із шляхом розвитку газоенергетики.

Дослідженню проблем газоенергетики присвячено праці таких учених, як Г. С. Андрєєв, О. С. Рогозін, О. І. Гордюхін, В. Д. Ошовський, О. О. Бусурін, О. О. Блоштейн та інші; узагальнення досвіду про технологічний догляд і ремонт газової апаратури, експлуатації споруд і ремонту газопроводів – Г. С. Андрєєв, П. П. Бородавкін, В. О. Багдасаров.

В. В. Масловський та І. І. Капцов вперше спробували узагальнити досвід і наукові напрацювання з цього питання у навчальному посібнику для вузів «Основи технології ремонту газового обладнання і трубопровідних систем».

Водночас, не знаючи будови і принципів роботи обладнання, а також процесів, які відбуваються під час експлуатації газової та енергетичної техніки, складно визначити її технічний стан, обрати науковий підхід щодо вибору методу й способу відновлення її працездатності. Ці фактори мають вирішальне значення для усвідомлення шляхів розвитку технології ремонту різноманітного газоенергетичного обладнання й трубопровідних систем.

# **1 ОРГАНІЗАЦІЯ ТЕХНІЧНОГО ОБСЛУГОВУВАННЯ Й ТЕХНОЛОГІЇ РЕМОНТУ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

## **1.1 Завдання ремонтної служби. Форми спеціалізації ремонтно-механічних підприємств**

Організація ремонтної служби має важливе значення для газової і енергетичної галузей виробництва, оскільки якість і своєчасний ремонт обумовлюють ефективність роботи газового обладнання й трубопровідних систем, екологічну безпеку цих галузей. Завданнями ремонтно-експлуатаційних підрозділів є:

- нагляд і догляд за наявними системами газозбереження з метою виправлення дрібних недоліків і попередження можливих нестандартних ситуацій у роботі газового обладнання та трубопровідних систем;
- своєчасний планово-попереджувальний ремонт газового обладнання й трубопровідних систем, основного й допоміжного обладнання, їхнього захисту, а також пристроїв діагностування;
- капітальний ремонт обладнання;
- модернізація обладнання або реконструкція газових і енергетичних систем [10, 17, 25].

Об'єктом ремонту є все обладнання газового або енергетичного виробництва регіону – як основне, так і допоміжне. У невеликих населених пунктах і районах ремонт газового обладнання виконує один ремонтний підрозділ, а вся ремонтна служба зосереджена в одному господарстві. Магістральні газові системи, споруди на них, а також ремонт газового обладнання і систем газопостачання у великих містах виконує відповідний ремонтний підрозділ цих господарств. Ремонтно-механічні підприємства здійснюють відновлення типових вузлів, наприклад арматури, приладів, компресорів тощо, а також ремонт трубопровідних систем, засобів захисту й діагностування. Ремонтно-будівельні роботи здійснює відповідний підрозділ. На компресорних станціях ремонт газового обладнання зазвичай провадиться власними силами.

Усі різновиди ремонтних робіт у газових підрозділах розподіляються між ремонтно-механічним виробництвом і ремонтними базами експлуатаційників газових ділянок або інших служб залежно від розміру та характеру газового енергетичного господарства. Відповідно до цього

обирається та чи інша форма організації виробництва ремонтних робіт: централізована, децентралізована або змішана.

Централізована форма спеціалізації передбачає виконання всіх видів ремонтних робіт й виготовлення дефіцитних запчастин спеціалізованими ремонтно-механічними, ремонтно-будівельними та іншими підрозділами газових і енергетичних господарств. Ці підрозділи зобов'язані виконувати відповідні ремонтно-механічні, зварювальні, будівельні й інші роботи під час модернізації обладнання й реконструкції газових трубопровідних систем. Ця організаційна форма застосовується на великих газових підприємствах. Технологічний процес диференційований, використовується сучасне ремонтно-механічне обладнання, технологічне оснащення та високоякісні допоміжні матеріали.

Уразі застосування децентралізованої форми спеціалізації всі види ремонтних робіт, зокрема капітальний ремонт, модернізацію газового обладнання, виготовлення запчастин для власних потреб експлуатаційних служб газової промисловості й газових енергетичних господарств виконують як експлуатаційні ділянки, так і спеціалізовані ремонтно-механічні підрозділи. Ця форма організації ремонту поширена і на підприємствах різних форм власності. У цьому разі ремонтно-механічні майстерні, цехи газового й енергетичного господарств виготовляють і відновлюють деталі й вузли на замовлення експлуатаційних і ремонтних служб, а також окремих споживачів газу, нафти та інших енергоносіїв. Тут може проводитися і капітальний ремонт складного газового обладнання, наприклад газових турбін і компресорів, засобів автоматики й діагностування, запірної арматури, тобто виконувати окремі найбільш трудомісткі й складні ремонтні роботи.

У разі змішаної форми спеціалізації всі види ремонтних робіт, окрім капітального, проводять регіональні або ділянкові ремонтні бази. Капітальний ремонт, а іноді й середній, виготовлення запчастин і модернізацію обладнання виконує ремонтно-механічна база. Така форма організації ремонтних робіт широко поширена в газовому й енергетичному господарствах, на промислових підприємствах, промислах та транспортних магістралях. Усі види ремонтних робіт, зокрема капітальний ремонт складної техніки, виконуються на місці розташування приладу або агрегату. Загалом спеціалізація ремонтно-механічних підприємств передбачає організацію ремонту із відновлення певного виду газового обладнання й систем газопостачання, окремих їх елементів або виконання певних видів ремонтних робіт. Відповідно до цього розрізняють предметну, подетальну й технологічну спеціалізації (рис. 1.1) [26, 28].

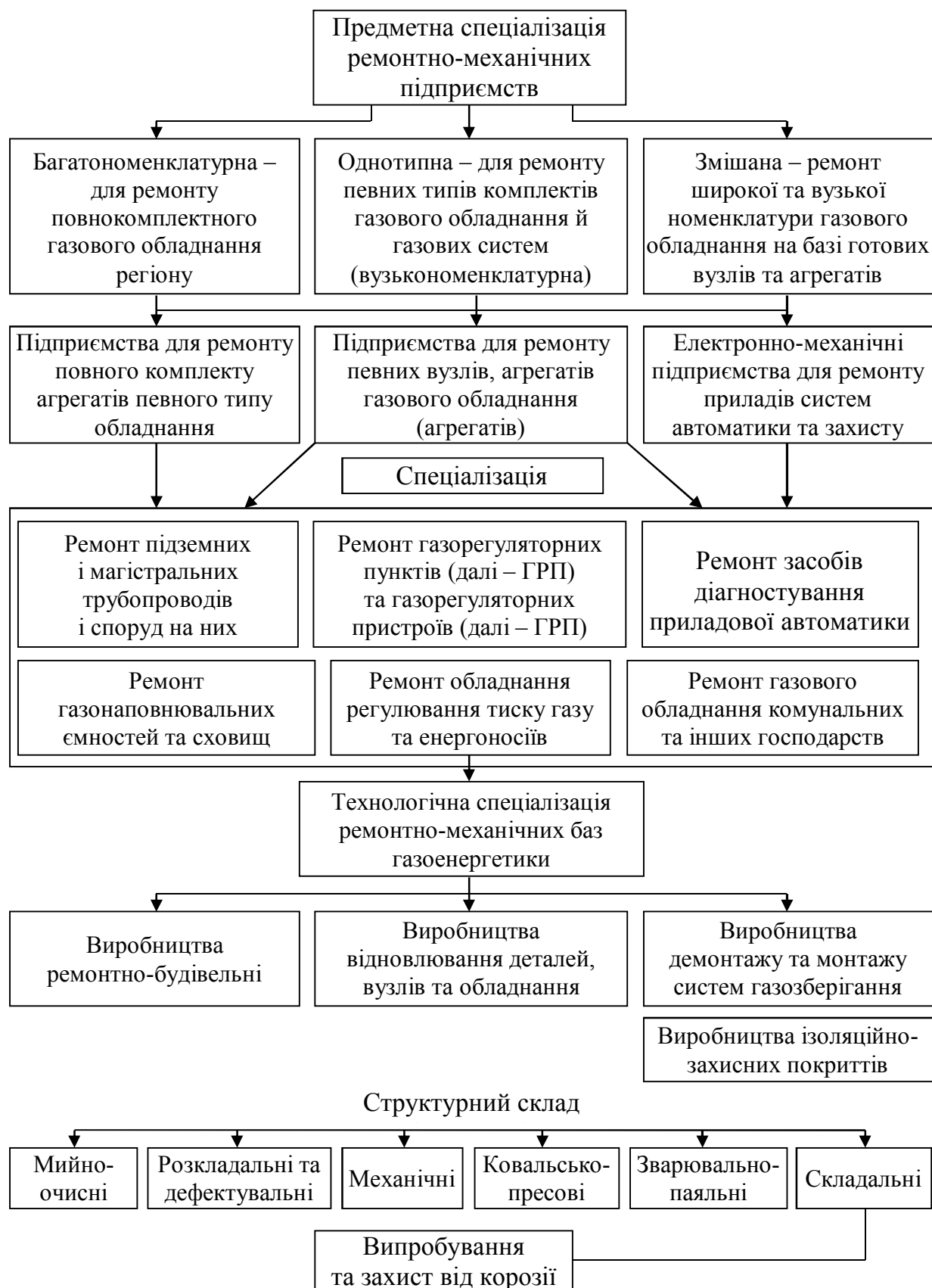


Рисунок 1.1 – Організаційні форми проведення ремонту газового обладнання й трубопровідних систем



Складні й трудомісткі вузли, агрегати, пристрої перевозяться на ремонтно-механічні виробництва, оснащені всім необхідним для проведення відновлювально-ремонтних, випробувальних робіт і можуть забезпечити їхню високу якість. Стосовно ремонтного виробництва газового обладнання трубопровідних систем з широкою номенклатурою виробів і предметною спеціалізацією застосовується комплексний ремонт компресорних станцій, магістральних трубопроводів, газорегуляторних пунктів тощо; підвузловий, подетальний – ремонт шатунно-поршневої групи компресорів, робочих коліс компресорів, запірної та регулювальної арматури, ремонт і виготовлення відводів та інших вузлів і агрегатів. До того ж ремонтно-відновлювальні роботи проводяться відповідно до технологічної оснащеності ремонтної бази. Технологічний процес як механічної, так і іншої обробки є результатом впливу робітника на деталі або агрегат за допомогою станка й інструмента, зварювального апарата [21].

Більшість ремонтно-механічних підприємств газової промисловості та енергетичних господарств регіонів мають змішані організаційні структури ремонтних підприємств.

Подальший розвиток ремонтної бази газових господарств пов'язаний із переходом до більш глибокої спеціалізації ремонтно-механічних підприємств з широким розвитком міжгосподарської кооперації.

## **1.2 Організаційні форми технологічного процесу ремонту газового обладнання й трубопровідних систем**

Організаційні форми технологічного процесу ремонту газового обладнання обумовлюються серійністю виробництва. У разі індивідуального та дрібносерійного виробництва вони будуть одними, а в разі серійного, особливо багатосерійного виробництва, – інші.

У разі застосування індивідуального методу ремонту газового й енергетичного обладнання, коли кожен окремий пристрій розкладає і складає одна бригада ремонтників, відновлення деталей виконують на іншій виробничій ділянці, але, як і розкладально-складальні роботи, також індивідуально. За такої організаційної форми технологія ремонту включає огляд і вимірювання деталі, а також призначення способу її відновлення, послідовність операції та порядок здавання деталі у виробництво. Після відновлення деталей повертають на відновлювальний об'єкт.

Зі збільшенням обсягів ремонтного виробництва до дрібносерійного ремонту, наприклад запірної арматури або агрегатів газового й енергетичного обладнання, виробництво поділяється на декілька груп, які спеціалізуються способом виконання відновлювальних робіт або методами ремонту. Кількість найменувань деталей, які потребують відновлення, зростає, одночасно збільшується кількість відновлюваних деталей за кожною номенклатурою. У цьому разі призначається окремий робітник, який визначає обсяг робіт за кожною деталлю в партії, передає їх на ремонтно-механічне виробництво та приймає назад.

Планування відновлення деталей при індивідуальному та дрібносерійному виробництві здійснюється за укрупненими нормами часу. Вхідний склад ремонтного фонду для відновлюваних деталей не потрібний, оскільки для полегшення технології ремонту в одній і тій самій партії деталі можуть мати декілька різних дефектів. Створюють спеціальні типові інформаційні довідники. Варто зазначити, що при індивідуальному та дрібносерійному виробництві кількість способів відновлення деталей обмежена й носить універсальний характер, наприклад різні види ручного зварювання, різання та паяння.

Таким довідковим матеріалом є інформація про укрупнену технологію на усунення кожного дефекту окремо або, як її ще називають, подефектну технологію. Оскільки остання не передбачає усього комплексу робіт щодо відновлення деталі загалом, а лише окремих дефектів, теоретично її не можна назвати технологією. За допомогою довідкового матеріалу визначається маршрут проходження кожної відібраної деталі для проведення ремонтно-відновлювальних робіт на спеціалізованих виробничих ділянках. Деталі, щодо яких не потрібно виконувати цю операцію, залишаються на об'єкті (рис. 1.2).

З рисунка 1.2 зрозуміло, що один виріб може мати багато дефектів. Деталі після кожної операції повертаються на об'єкт, для здійснення приймально-перевірального контролю, який в разі встановлення неякісності ремонту повертає їх на ремонтно-механічні підприємства до тих пір, доки дефекти не будуть усунені повністю. Зі збільшенням програмного завдання і переходом на серійне й багатосерійне виробництво кількість способів відновлення деталей збільшується, поширене ручне зварювання замінюється автоматичними видами зварювання й наплавлення.

Кожен зі способів застосовується в певній галузі, але зазвичай певний дефект може бути усунений при одних і тих самих якісних показниках двома або більше способами, які різняться тільки трудовими витратами,

пов'язаними з виконанням робіт по операції. Наприклад, зношену різьбу можна відновити вібродуговим наплавленням в середовищі вуглекислого газу, зношену зовнішню циліндричну поверхню відновлюють за допомогою вібродугового наплавлення, наплавлення під шаром флюсу, хромування, зупинення й металізації.

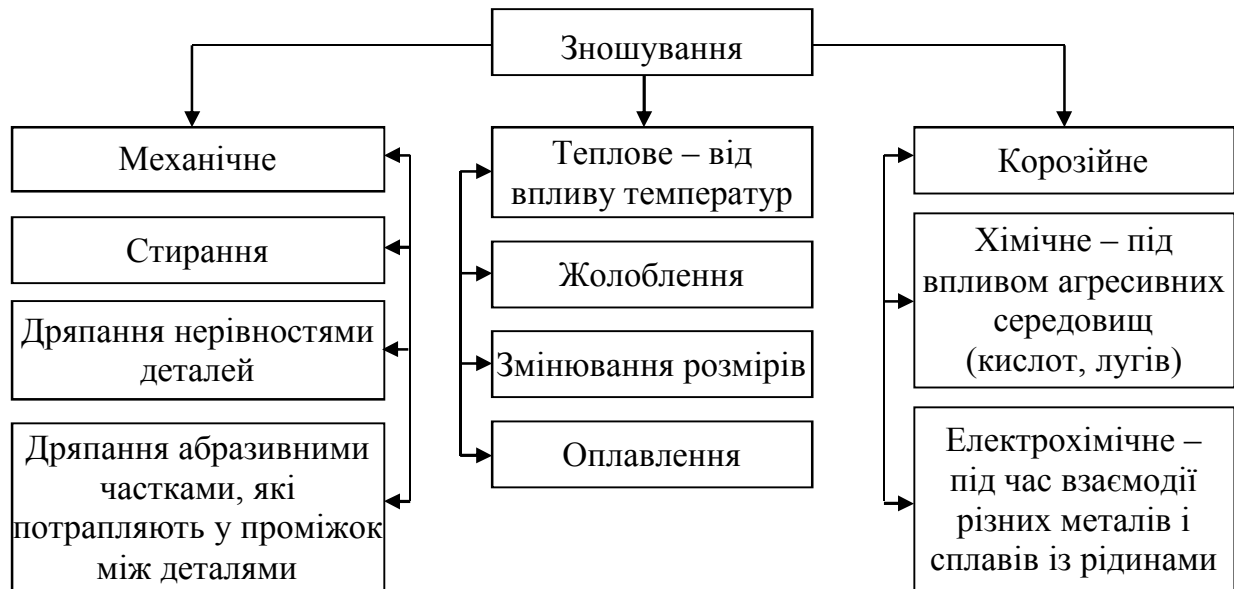


Рисунок 1.2 – Характерні дефекти, які виникають у процесі експлуатації газового обладнання

Беручи це до уваги не можна закріплювати за окремими дефектами певні способи відновлення, оскільки в разі поєднання дефектів деталі в технологічному процесі буде спостерігатися різноманіття операцій, яке врешті-решт призведе до подовження виробничого циклу й подорожчання ремонтних робіт. У такому разі для кожного варіанта поєднання дефектів потрібно обирати певний спосіб відновлення, який має бути технічним і економічно доцільним. Цього досягти неможливо, якщо попередньо не скласти декілька варіантів технологічного процесу для всіх поєднань дефектів. Отже, у серійному й багатосерійному виробництві подефектна технологія перестає відігравати свою позитивну роль, вона, навпаки, ускладнює організацію технологічного процесу. У разі серійного, а також багатосерійного виробництва для кожного поєднання дефектів складають окремий технологічний маршрут і процес, а також маршрутну технологію.

Із переходом ремонтно-механічного виробництва на серійне й багатосерійне виробництво та зі збільшенням програмного завдання розміри партій зростають, а отже, в разі застосування подефектної технології не можна простежити за кожною деталлю окремо, тому часто допускаються пропускання в усуненні дефектів. В таких умовах подефектна технологія не

забезпечує якість відновлення деталей. У разі ж застосування маршрутної же технології забезпечується безперервність технологічного процесу усієї партії деталей, а контроль якості та облік кількості деталей аналогічні процесу виготовлення деталей у машинобудуванні. Окрім того, серійне й багатосерійне виробництво потребує чіткого виробничого планування, певного графіка завантаження обладнання, чого неможливо досягти в разі застосування подефектної технології, оскільки деталі, які потребують відновлення, у такому разі можна зберігати на складі тільки за найменуванням деталей і без врахування обсягів відновлювальних робіт. Щоб спланувати виробництва необхідно, щоб деталі зберігалися й обліковувалися за поєднанням дефектів, тобто за маршрутами з певним обсягом ремонтних робіт, а цього можна досягти тільки після розроблення маршрутної технології з технічними нормами часу.

Таким чином, при серійному й багатосерійному виробництві застосовують маршрутну технологію, складену комплексно, окремо для кожного маршруту, деталі зберігають та обліковують на складі і запускають у виробництво окремими партіями.

Технологічний процес відновлення деталей можна здійснювати шляхом послідовного та паралельного виконання операцій.

У разі послідовного виконання операцій усю партію деталей підвозять до робочого місця зварювальника, монтажника, або іншого спеціаліста одночасно, там вони знаходяться до тих пір, доки не буде виконано роботи зі всіма деталями. Потім усю партію перевозять на наступне робоче місце, де виконують наступну операцію, і так всі деталі, до завершення виконання всіх операцій технологічного процесу.

У разі такого виконання робіт норми штучного часу, відведені на окремі операції, можуть бути різними й незалежними одна від одної, завантажувати за часом станки, які беруть участь у відновленні певної партії деталей, можна по різному, а розташувати їх за групами (токарна, фрезерна тощо), однак у цьому разі зростають внутрішньоцехові перевезення.

Якщо відновлюють декілька найменувань деталей аналогічних за конструкцією з ідентичним технологічним процесом, який завантажує будь-який певний компонент обладнання, то в такому разі деталі з одним найменуванням запускають у виробництво серіями, відповідно переналагоджуючи обладнання. Технологічний процес здійснюють, послідовно виконуючи операції, норми штучного часу за операціями при цьому не залежать одна від одної. Станки, які беруть участь в обробці

деталей, на виробничій ділянці розташовують за технологічним процесом на деталь, із найбільшим програмним завданням [49].

Деталі з партії в процесі виконання операції передають від одного зварювального поста (станка) до іншого, хоча останній станок ще зайнятий попереднім завданням. Таке розташування обладнання називається прямоточним. Воно сприяє значному скороченню транспортних шляхів деталі.

Потрібно зазначити, що обох розглянутих вище випадках організації процесу в разі послідовного виконання операцій виробничий цикл залишається великим, і становить суму добутку норми штучного часу на кількість деталей в партії за всіма операціями.

У разі паралельного виконання усі операції виконуються одночасно на всіх станках, зайнятих обробленням деталі. Їх поштучно передають від одного станка до іншого та негайно розпочинають роботу на станку. Станки розташовуються на лінії чітко за технологічним процесом – за потоком, тому таке виробництво називають потоковим.

При поточковому виробництві норми часу на окремі операції технологічного процесу мають бути однаковими або кратними одна щодо іншої, без цього не може здійснюватися поточність виробництва. Норми часу за операціями можна синхронізувати шляхом вибору обладнання необхідної продуктивності, перерозподілу за операціями переходів, заміни встановлених кріпильно-затискних пристосувань на більш досконалі, застосування удосконалених вимірювальних і надійніших різальних інструментів, а також вибору оптимального режиму обробки.

Потокове виробництво може бути постійно-поточним чи змінно-поточним.

Постійно-поточне виробництво – це такий вид виробництва, коли програмне завдання для однієї деталі повністю завантажує певний комплект обладнання, який розташовують чітко за технологічним процесом.

Якщо ж програмне завдання для однієї деталі не завантажує комплект обладнання, але в номенклатурі оброблюваних деталей є декілька однойменних деталей однакової конструкції, які відрізняються одна від одної тільки за розмірами (наприклад поворотні цапфи тощо) тоді щодо кожного найменування деталі виконується організація змінно-поточного виробництва.

Змінно-поточне виробництво полягає в тому, що на одну поточкову лінію запускають декілька однойменних деталей однакової конструкції з однаковим технологічним процесом, які завантажують певний комплект обладнання, що розташовують чітко за технологічним процесом.

Змінно-потокова лінія має ті самі переваги, що й постійно-потокова, до того ж її можна використовувати при серійному виробництві, оскільки вона завантажується партіями однойменних деталей різних агрегатів.

Під час організації змінно-потокової лінії в технологічному процесі кожної окремої деталі необхідно передбачити однакові норми часу за операціями. Норми часу на однакові операції для різних деталей, які запускають на одну поточкову лінію, мають бути однаково пропорційними. Наприклад, якщо технологічний процес відновлення однієї деталі передбачає сім операцій з однаковими або кратними нормами часу, то й для іншої однойменної деталі вони мають бути однакові, а трудомісткості за відповідними операціями першої та другої деталі – пропорційними.

Залежно від масштабу виробництва технологічний процес складання може здійснюватися за допомогою постового або поточкового способу виробництва.

У разі використання постового способу складання один чи декілька агрегатів складає на одному робочому місці спочатку і до кінця один робітник або одна бригада. Технологічний процес складання розробляють укрупнено, не розділяючи операції на переходи. Норми часу визначають або на окремі операції, або на увесь процес складання агрегату, вузла чи обладнання, не зазначаючи номерів деталей, які йдуть на складання, оскільки процес виконує один робітник або одна бригада, а деталі для складання подають тільки в одне місце. Постовий спосіб складання застосовують при індивідуальному й дрібносерійному виробництві. В умовах масового й багатосерійного виробництва вироби складають на лініях, тобто поточковим способом.

## 2 ТЕОРЕТИЧНІ ОСНОВИ ОРГАНІЗАЦІЇ І ФУНКЦІОНУВАННЯ ТЕХНОЛОГІЧНОЇ СИСТЕМИ ВИРОБНИЦТВА Й РЕМОНТУ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ ТА ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

### 2.1 Розрахування надійності технологічних систем за параметрами продуктивності праці

#### 2.1.1 Технологічні системи з жорстким зв'язком підсистем

##### 2.1.1.1 Одноканальна технологічна система

Під час процесу розрахування показників надійності одноканальних технологічних систем із жорстким зв'язком приймають такі припущення:

- відмови елементів незалежні;
- потоки відмов стаціонарні;
- час між відмовами й час відновлення розподілені згідно з експоненційним законом.

*Вихідні дані для розрахування:*  $t_0$  – заданий час виконання завдання;  $V_0$  – обсяг завдання з випуску продукції, шт.;  $Q_n$  – номінальна продуктивність технологічної системи, шт./год;  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов  $i$ -го елемента технологічної системи;  $T_{b_i}$  – середній час відновлення працездатності  $i$ -го елемента технологічної системи, год;  $v(0)$  – обсяг запасів продукції до початку виконання завдання, шт.;  $n$  – кількість елементів (одиниць обладнання) технологічної системи;  $r$  – кількість ремонтних бригад.

*Послідовність розрахунків*

Значення допоміжних характеристик:

- інтенсивність відмов системи

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i ; \quad (2.1)$$

- середній час відновлення систем

$$T_b = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{b_i} ; \quad (2.2)$$

- час виконання завдання під час безвідмовної роботи усіх елементів

$$t_n = \frac{v_0}{Q_n} ; \quad (2.3)$$

– припустимий сумарний час простоювання технологічної системи

$$t_p = t_0 - t_n; \quad (2.4)$$

– середня кількість відмов до напрацювання

$$a = \lambda t_n; \quad (2.5)$$

– відносне значення резерву часу

$$b = \frac{t_p}{T_b}. \quad (2.6)$$

Імовірність виконання завдання

$$P_c(t_0, V_0) = 1 - e^{-a-b} \sum_{k=1}^m \frac{a^k}{k} \sum_{j=0}^{k-1} \frac{b^j}{j}, \quad (2.7)$$

де  $m$  обирають на підставі заданої точності обчислень  $\varepsilon$ :

$$\frac{a^m}{m} \ll \varepsilon. \quad (2.8)$$

Коефіцієнт готовності технологічної системи за  $r = 1$  буде таким:

$$k_r = 1/(1 + \lambda T_c). \quad (2.9)$$

Середній час виконання завдання з урахуванням часу, що витрачається на усунення відмов, становить:

$$T_3(V_0) = V_0 / Q_n K_r. \quad (2.10)$$

Середня продуктивність під час виготовлення і ремонту продукції відповідно до заданого обсягу  $V_0$  та на інтервалі часу  $(0, t_0)$  має такий вигляд:

$$Q_{cp}(V_0) = V_0 / Q_n K_r. \quad (2.11)$$

Приведені формули визначають послідовність розрахунків надійності технологічних систем із жорстким зв'язком підсистем.

#### 2.1.1.2 Багатоканальна технологічна система

У процесі розрахування показників надійності багатоканальних технологічних систем приймають такі припущення:

- відмови каналів незалежні;
- у разі відмови одного з каналів інші канали продовжують працювати; потоки відмов каналів стаціонарні;



- напрацювання між відмовами та час відновлення каналу мають експоненційні розподіли;
- кількість ремонтних бригад дорівнює кількості каналів.

*Вихідні дані:*  $m$  – кількість паралельних каналів;  $Q_{nc}$  – номінальна продуктивність системи;  $Q_i$  – продуктивність системи при  $i$  працездатних каналах;  $t_0$  – час виконання завдання у разі безвідмовної роботи всіх каналів системи.

*Послідовність розрахунків*

Імовірність виконання завдання з виготовлення продукції обсягом  $V_0$

$$P_c(t_0, v_0) = \Phi \left( \frac{mQ_i t_0 - V_0(1 + \lambda T_b)}{mQ_i T_b \sqrt{2\lambda t_0 / m(1 + \lambda T_b)}} \right). \quad (2.12)$$

Середній час виконання завдання

$$T_c(V_0) = V_0(1 + \lambda T_b) / mQ_i. \quad (2.13)$$

Приведені формули визначають послідовність розрахунків надійності багатоканальної технологічної системи [30].

## 2.1.2 Технологічні системи з потоковою організацією виробництва й ремонту

### 2.1.2.1 Аналітичний метод

*Вихідні дані для розрахунку показників надійності технологічної системи із потоковою організацією виробництва і ремонту за допомогою аналітичного методу є такими:*  $\lambda_i$  – інтенсивність відмов ділянок технологічної системи;  $Q_{ji}$  – номінальна продуктивність ділянок технологічної системи;  $\lambda_{ji}$  – інтенсивність відмов міжопераційних накопичувачів;  $S_{0i}$  – рівні початкового заповнення накопичувачів;  $T_{bi}$  – середній час відновлення працездатності ділянок технологічної системи;  $S_i$  – ємність  $i$ -го накопичувача;  $T_{ji}$  – середній час відновлення.

### *Послідовність розрахунків*

Під час розрахування завдання дводільничної технологічної системи із проміжними накопичувачами для випадку, коли номінальна продуктивність технологічної системи ( $Q_i$ ) визначається номінальною продуктивністю другої ділянки

$$P_3(t_0 S_{01}) = e^{-(\lambda_2 + \lambda_n)t_0} (1 - q e^{-\frac{(1-q)S_{01}}{T_{b/q} Q_n}}), \quad (2.14)$$

де

$$q = \frac{\lambda_1 T_{b1} Q_{n2}}{Q_{n1} - Q_{n2}}; \quad (2.15)$$

$$Q_{n2} < Q_{i1}. \quad (2.16)$$

Коефіцієнт готовності дводільничної технологічної системи за однаковою продуктивністю ділянок, експоненційних розподілів напрацювань та часу відновлення ділянок:

$$K_r(S_{01}) = K_{r2} K_{zn} (1 - (1 - K_{r1}) \delta(S_{01})), \quad (2.17)$$

де  $k_{ri}$  – коефіцієнт готовності  $i$ -ї ділянки ( $i = 1, 2$ );

$$K_{ri} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{bi}}. \quad (2.18)$$

Коефіцієнт готовності накопичувача

$$K_{zn} = \frac{1}{1 + \lambda_i T_{bi}}. \quad (2.19)$$

Коефіцієнт накладених втрат

$$\delta(S_{01}) = \frac{\lambda_2 T_{b2} - \lambda_1 T_{b1}}{\lambda_1 T_{b1} + \lambda_2 T_{b2} \exp\left[\left(\frac{1}{\lambda_1 + \lambda_2} + \frac{T_{b1} T_{b2}}{T_{b1} + T_{b2}}\right) \frac{(\lambda_2 T_{b2} - \lambda_1 T_{b1}) S_{01}}{T_{b1} T_{b2} Q_i}\right] - 1}. \quad (2.20)$$

Приведені формули визначають послідовність розрахувань надійності технологічних систем з потоковою організацією виробництва і ремонту [30].

#### *2.1.2.2 Метод параметричної рандомізації*

Метод параметричної рандомізації використовують для оцінювання надійності технологічного процесу системи, що складається з відносно великої кількості операцій, які виконуються послідовно, до того ж кожна

технологічна система може містити декілька елементів (одиниць однотипного технологічного обладнання), що працюють одночасно (паралельно) на один накопичувач.

Метод параметричної рандомізації застосовують у разі наявності таких припущень:

– на інтервалі часу, що розглядається, кожен елемент технологічної системи може відмовляти один раз, до того ж момент виникнення відмови усередині інтервалу розподіляється рівномірно. Припущення справедливе для елементів технологічної системи, якщо:

1) час відновлення співрозмірний із проміжком часу, який розглядається,  $t_0$ ;

2) установлене безвідмовне напрацювання  $t_y \geq t_0$ ;

3) зневажено малу ймовірність двох і більше відмов на інтервалі часу  $(0, t_0)$ ;

– час відновлення  $T_B$  кожного елемента технологічної системи має дискретну функцію розподілу:

$$P(T_B = t_B) = P_{B_i} \neq 0 \text{ для } i=1, 2, \dots, n_B, \quad (2.21)$$

де  $i$  – номер способу відновлення;

$n_B$  – кількість способів відновлення.

Технологічний процес може бути представлений як процес із дискретним часом. До того ж змінювання стану елементів технологічної системи (перехід із працездатного стану до непрацездатного і навпаки) може відбуватися тільки в певні моменти часу, що утворюють рівномірну послідовність із кроком  $\Delta t$ , який обирають за умови точності й трудомісткості обчислень. Мінімальна величина  $\Delta t$  обмежена часом обслуговування однієї заявки (оброблення одного виробу) технологічної системи в номінальному режимі із мінімальним часом відновлення працездатності елементів технологічної системи  $t_{u_{\min}}$ :

$$t_{u_{\min}} \geq t_{\min} \geq \frac{1}{Q_H}, \quad (2.22)$$

де  $Q_H$  – номінальна продуктивність технологічного процесу (кількість виробів, що оброблюються технологічною системою за одиницю часу за відсутності відмов).

*Вихідні дані:*  $M$  – кількість операцій у технологічному процесі, що розглядається;  $N_m$  – кількість елементів у  $m$ -ї технологічній системі ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $t_0$ ,  $V_0$  – задані час та обсяг випуску продукції;  $S_{\max_m}$  – максимально допустимий обсяг заповнення накопичувача на вході

$m$ -ї технологічної системи ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $q_m$  – імовірність відмови елемента  $m$ -ї технологічної системи ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $n_{B_m}$  – кількість способів відновлення елемента  $m$ -ї технологічної системи ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $t_{B_{m,i}}$  – час відновлення елемента  $m$ -ї технологічної системи  $i$ -м способом ( $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $i = 1, 2, \dots, n_{B_m}$ );  $P_{B_{m,i}}$  – імовірність застосування  $i$ -го способу відновлення елемента  $m$ -ї технологічної системи ( $m = 1, 2, \dots, M$ ;  $i=1, 2, \dots, n_{B_m}$ ), до того ж  $\sum_{i=1}^{n_{B_m}} P_{B_{m,i}} = 1$ ;  $Q_m$  – номінальна продуктивність елемента  $m$ -ї технологічної системи ( $m = 1, 2, \dots, M$ );  $\varepsilon$  – необхідна точність оцінки.

### *Порядок надходження виробу на оброблення*

Вироби, що обробляються, надходять до входу технологічної системи, що розглядається, рівномірно, з інтенсивністю, що відповідає номінальній продуктивності технологічної системи, яка лімітується «вузьким місцем» технологічної системи з мінімальною продуктивністю:

$$Q_n \leq \min_{m=1,2,\dots,M} (N_m \cdot Q_m). \quad (2.23)$$

Метод параметричної рандомізації полягає в складанні кінцевої множини реалізацій технологічного процесу, розрахуванні показників виконання завдання для кожної реалізації та їхньому осередненні (рандомізації), за множиною реалізацій з урахуванням їхніх імовірностей.

Розрахування за методом параметричної рандомізації рекомендується здійснювати за допомогою засобів електронно-обчислювальної техніки.

Множину  $A$  реалізацій технологічного процесу, що розглядаються, поділяють, залежно від сполучень елементів, що відмовляють у реалізації, на  $N_A$  підмножин  $A_y$ . Кожна підмножина  $A_y$  характеризується вектором

$$\vec{x}_y \sim (x_{1,1}, \dots, x_{1,N_1}, \dots, x_{m,n}, \dots, x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}, \dots), \quad (2.24)$$

де  $x_{m,n}$  – індикатор відмови  $n$ -го елемента  $m$ -ї технологічної системи:  $x_{m,n} = 1$ , якщо елемент відмовляє;  $x_{m,n} = 0$ , якщо елемент не відмовляє, з імовірністю

$$P_v = P\{a \in A_u\} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} P_{m,n}^*, \quad (2.25)$$

де  $a$  – довільна реалізація технологічного процесу;

$$P_{m,n}^* = \begin{cases} q_m, & \text{коли } x_{m,n} = 1 \\ 1 - q_m, & \text{коли } x_{m,n} = 0 \end{cases}. \quad (2.26)$$

Число підмножин  $A_v$  дорівнює:

$$N_A = 2^{\sum_{m=1}^M N_m}. \quad (2.27)$$

Для скорочення обсягу обчислень з розгляду виключаються підмножини  $A_v$ , для яких величина  $P_v$  зневажено мала порівняно із заданою точністю оцінки  $\varepsilon$ . Для цього підмножини нумерують в порядку спадання величин  $P_v$ , а потім виключають із розгляду останні  $N_n$  підмножини, для яких

$$\sum_{v=N_A-N_n+1}^{N_A} P_v \leq \varepsilon \leq \sum_{v=N_A-N_n}^{N_A} P_v. \quad (2.28)$$

Кожну підмножину  $A_v$  (із кількості тих, що залишились) поділяють на підмножини  $A_{v,\mu}$ , що різняться тільки способами відновлення встановлених елементів, що відмовляють.

Кількість цих підмножин у підмножині  $A_v$  обчислюється так:

$$N_{A_v} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} (n_{B_m})^{x_{m,n}}. \quad (2.29)$$

Оскільки всі реалізації у кожній підмножині  $A_{v,\mu}$  відрізняються одна від одної тільки моментами відмов елементів, то вони мають однакову ймовірність відтворення:

$$P_{v,\mu} = \prod_{m=1}^M \prod_{n=1}^{N_m} \prod_{i=1}^{n_{B_m}} (P_{B_m,i})^{x_{m,n}}. \quad (2.30)$$

Основний показник надійності технологічної системи, що розглядається, – ймовірність виконання завдання - визначають із виразу:

$$P_3(t_0) = \sum_{v=1}^{N_A-N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{R_{v,\mu}^*}{R_{v,\mu}}, \quad (2.31)$$

де  $R_{v,\mu}$  – загальна кількість реалізацій у підмножині  $A_{v,\mu}$ :

$$R_{v,\mu} = (n_t)^k; \quad (2.32)$$

де  $k$  – кількість елементів технологічної системи, що відмовляють:

$$k = \sum_{m=1}^M \sum_{n=1}^{N_m} x_{m,n}; \quad (2.33)$$

$n_t$  – кількість точок роздібнення інтервалу  $(0, t_0)$ , що визначається з урахуванням припущень із виразу:

$$n_t = \left\lceil \frac{t_0}{\Delta t} \right\rceil; \quad (2.34)$$

$R_{v,\mu}^*$  – кількість успішних реалізацій у підмножині (у яких завдання виконується);

$$R_{v,\mu}^* = \sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} \varphi(\vec{Y}_{v,\mu,r}), \quad (2.35)$$

де  $\vec{Y}_{v,\mu,y}$  – вектор параметрів, що однозначно задають  $r$ -у реалізацію з підмножини  $A_{v,\mu}$ , і визначаються, як показано нижче;

$\varphi(\vec{Y}_{v,\mu,y})$  – індикаторна функція виконання завдання в  $r$ -ї реалізації, що визначається, як показано нижче.

Вектор  $\vec{Y}_{v,\mu,r}$  відповідає  $r$ -му сполученню значень параметрів стану технологічної системи з підмножини  $A_{v,\mu}$ :

$$\vec{Y}_{v,\mu,r} \sim \begin{pmatrix} x_{1,1}, \dots, x_{1,N_1}, \dots, x_{m,n}, \dots, x_{M,1}, \dots, x_{M,N_M}; \\ t_{1,1}^*, \dots, t_{1,N_1}^*, \dots, t_{m,n}^*, \dots, t_{M,1}^*, \dots, t_{M,N_M}^*; \\ t_{B_{1,1}}^*, \dots, t_{B_{1,N_1}}^*, \dots, t_{B_{m,n}}^*, \dots, t_{B_{M,1}}^*, \dots, t_{B_{M,N_M}}^* \end{pmatrix}, \quad (2.36)$$

де  $t_{m,n}^*$  – реалізація моменту відмови  $n$ -го елемента  $m$ -ї технологічної системи відповідно  $j$ -го моменту часу:

$$t_j = \Delta t(j - 1) \text{ для } j = 1, 2, \dots, n_t; \quad (2.37)$$

$t_{e_{m,n}}^*$  – реалізація часу відновлення працездатності елемента, який відмовив, що відповідає  $i$ -му способу відновлення:

$$t_{B_{m,n}}^* = x_{m,n} \cdot t_{B_{m,n}}. \quad (2.38)$$

Індикаторна функція виконання завдання в  $r$ -ї реалізації з підмножини  $A_{v,\mu}$  має такий вигляд:

$$\varphi(\vec{Y}_{v,\mu,r}) = \begin{cases} 1, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) \geq V_0 \\ 0, & \text{якщо } V_{v,\mu,r}(t_0) < V_0, \end{cases} \quad (2.39)$$

де  $V_{v,\mu,r}$  – обсяг продукції, виготовленої під час  $r$ -ї реалізації

технологічного процесу з підмножини  $A_{v, \mu}$ :

$$V_{v, \mu, r}(t_0) = V(t_0) = \Delta t \cdot \sum_{j=1}^{n_t} Q_{M, j}^1; \quad (2.40)$$

$Q_{M, j}^1$  – продуктивність технологічної системи на  $j$ -му проміжку часу.

Величини  $Q_{M, j}^1$  визначаються шляхом послідовного розрахування значень  $Q_{M, j}^1$  для  $m = 1, 2, \dots, M$  в кожний  $j$ -й проміжок часу за рекурентним співвідношенням:

$$Q_{M, j}^1 = \begin{cases} 0, & \text{якщо } S_{m+1, j} \geq S_{\max_{m+1}} \\ \frac{S_{m, j}}{\Delta t}, & \text{якщо } Q_{m, j}^0 \cdot \Delta t > S_{m, j} \text{ и } S_{m+1, j} < S_{\max_{m+1}} \\ Q_{m, j}^0, & \text{якщо } Q_{m, j}^0 \cdot \Delta t \ll S_{m, j} \text{ и } S_{m+1, j} < S_{\max_{m+1}}, \end{cases} \quad (2.41)$$

де  $S_{m, j}$  – значення довжини черги (заповнення накопичувача) на вході  $m$ -ї технологічної системи на  $j$ -му проміжку часу:

$$S_{m, j} = S_{m, j-1} + (Q_{m-1, j-1}^1 - Q_{m, j-1}^1) \cdot \Delta t; \quad (2.42)$$

$Q_{M, j}^1$  – можлива продуктивність  $m$ -ї технологічної системи на  $j$ -му проміжку часу:

$$Q_{m, j}^0 = Q_m \sum_{n=1}^{N_m} Z_{m, n, j}; \quad (2.43)$$

$$Z_{m, n, j} = \begin{cases} 1, & \text{якщо } t_j < t_{m, n}^* \text{ и } t_j \geq t_{m, n}^* + t_{\theta_{m, n}}^* \\ 0, & \text{якщо } t_{m, n}^* \ll t_j < t_{m, n}^* + t_{\theta_{m, n}}^* \end{cases} \quad (2.44)$$

з такими початковими умовами:

$$Q_{0, j-1}^1 = Q_1, j = 1, 2, \dots, n_t. \quad (2.45)$$

У початковий момент часу (якщо  $j = 0$ ) довжину черги на вході кожної  $m$ -ї технологічної системи в загальному випадку обирають із умов забезпечення номінального режиму роботи:

$$S_{m, 0} = Q_m \cdot \Delta t \text{ для } m = 1, 2, \dots, M \quad (2.46)$$

або задають у вигляді вихідних даних:

$$S_{m,0} = S_m^0, \text{ для } m = 1, 2, \dots, M. \quad (2.47)$$

де  $S_m^0$  – вихідне заповнення  $m$ -го накопичувача.

За необхідності метод параметричної рандомізації можна використати для визначення інших показників надійності. Наприклад, середній обсяг продукції  $\bar{V}$ , що виготовляється або ремонтується технологічною системою за час  $t_0$ , та його середнє квадратичне відхилення  $\sigma_v$  визначають за такими співвідношенням:

$$\bar{V} = \sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} V_{v,\mu,r}(t_0)}{R_{v,\mu}}; \quad (2.48)$$

$$\sigma_v = \sqrt{\sum_{v=1}^{N_A - N_n} \sum_{\mu=1}^{N_{A_v}} P_{v,\mu} \cdot \frac{\sum_{r=1}^{R_{v,\mu}} (V_{v,\mu,r}(t_0) - \bar{V})^2}{R_{v,\mu}}}. \quad (2.49)$$

Приведені формули визначають послідовність надходження виробів на оброблення [30].

### 2.1.3 Приклади розв'язання задач

#### Задача 1

Розрахувати надійність за параметрами продуктивності праці дільниці автоматичної лінії зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем за такими вихідними даними: кількість елементів системи  $n = 4$ , інтенсивність відмов кожного  $\lambda_i = 0,252$  1/год., середній час відновлення працездатності  $T_{vi} = 0,05$  год., номінальна продуктивність дільниці  $Q_n = 40$  вир./год. Партія налічує 400 виробів, заданий час виконання завдання – 11,5 год.

#### Розв'язання

Інтенсивність відмов дільниці при  $n = 4$  становить

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i = 0,252 + 0,252 + 0,252 + 0,252 = 1,008 \text{ 1/год.}$$



Час відновлення працездатності

$$T_B = \sum_{i=1}^n \left( \frac{\lambda_i}{\lambda} T_{Bi} \right) = 0,05 \text{ год.}$$

Час виконання завдання обсягом  $V_0$  за умови безвідмовної роботи всіх елементів технологічної системи визначається так:

$$t_n = \frac{V_0}{Q_n} = 10 \text{ год.}$$

Припустимо можливий час простоювання обладнання становить:

$$t_p = t_0 - t_n = 1,5 \text{ год.}$$

Допоміжні параметри:

$$a = \lambda \cdot t_n = 10,08; \quad b = \frac{t_p}{T_b} = 21.$$

Отже,

$$\Phi\left(\frac{1 + 21 - 10,08}{\sqrt{2 \cdot 21}}\right) = 0,968 < P_3 > \Phi\left(\frac{21 - 10,08}{\sqrt{2 \cdot 10,08}}\right) = 0,0993, \quad P_3 = 0,9805.$$

Коефіцієнт готовності ділянки

$$k_r = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_B} = 0,952.$$

Середній час виконання завдання:

$$T_3 = \frac{V_0}{Q_n \cdot k_r} = 10,504.$$

## Задача 2

Оцінити показники надійності автоматичної лінії для зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.1.

Таблиця 2.1 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат розпакування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	300	600	1000
Інтенсивність відмов, 1/год	0,03	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,01	0,01	0,02

Вихідні дані:  $V_0$  – обсяг партії виробів (500 шт.);  $t_n = \frac{V_0}{Q_n}$ ;

$t_n = 500/300 = 1,67$  год;  $t_0$  – заданий час виконання завдання (1,6 год).

### Розв'язання

Час виконання завдання обсягом  $V_0$  визначають за формулою

$$t_p = t_n - t_0.$$

Допустимий сумарний час простоювання технологічної системи

$$t_p = 1,67 - 1,6 = 0,07 \text{ год.}$$

Інтенсивність відмов системи

$$\lambda = \sum_{i=1}^n \lambda_i; \quad \lambda = 0,03 + 0,01 + 0,02 = 0,06 \text{ 1/год.}$$

Середній час відновлення системи

$$T_{\text{в}} = \sum_{i=1}^n \frac{\lambda_i}{\lambda} \cdot T_{\text{в}i}; \quad T_{\text{в}} = \frac{0,03}{0,06} \cdot 0,01 + \frac{0,01}{0,06} \cdot 0,01 + \frac{0,02}{0,06} \cdot 0,02 = 0,058 \text{ год.}$$

Середній час відмов до напрацювання

$$A = \lambda \cdot t_n; \quad a = 0,06 \cdot 1,67 = 0,01.$$

Відносне значення резерву часу

$$b = t_p / T_{\text{в}}; \quad b = 0,07 / 0,058 = 1,21.$$

Імовірність виконання завдання вираховується за формулами

$$P_3(t_0, V_0) = 1 - e^{-a-b} \sum_{K=1}^m \frac{a^K}{K} \cdot \sum_{j=0}^{K-1} \frac{b^j}{j};$$

$$\frac{a^m}{m} \ll \varepsilon;$$

$$P_3 = 0,9997,$$

де  $m$  обирають на підставі заданої точності обчислень  $\varepsilon$ .

Коефіцієнт готовності технологічної системи при  $r = 1$  отримаємо так:

$$K_{\text{г}} = \frac{1}{1 + \lambda \cdot T_{\text{в}}}; \quad K_{\text{г}} = \frac{1}{1 + 0,06 \cdot 0,058} = 0,9964.$$

Середній час виконання завдань з урахуванням часу, витраченого на усунення замовлень, визначимо так:

$$T_3(V_0) = \frac{V_0}{Q_{\text{н}} \cdot K_{\text{г}}}; \quad T_3(V_0) = \frac{500}{300 \cdot 0,9964} = 1,66 \text{ год.}$$

Середня продуктивність під час виготовлення або ремонту продукції заданого обсягу та середня продуктивність на інтервалі часу  $(0, t_0)$  становить

$$Q_{cp}(V_0) = Q_n \cdot < K_r ; \quad Q_{cp} = 300 \cdot 0,9964 = 298,92 \approx 299 \text{ вир./год.}$$

*Аналіз результатів.* Виконані розрахунки дають змогу зробити висновок про те, що відповідно до приведених розрахунків, технологічна система відрізняється високим коефіцієнтом готовності, який наближається до одиниці, а це, зі свого боку, забезпечує близьку до номінального значення величину середньої продуктивності. Час виконання завдання дещо більше заданого. Отже, застосовувати резервування недоцільно.

#### 2.1.4 Задачі для самостійного розв'язання

##### Задача 1

Визначити показники надійності й продуктивності лінії, яка складається з трьох автоматів, інтенсивність відмов яких  $\lambda_i = 0,015$  1/год, а середній час відновлення  $T_{di} = 0,04$  год. Номінальна продуктивність ділянки лінії  $Q_n = 50$  вир./год, обсяг завдання – 400 шт., заданий час виконання завдання  $t_0 = 11,05$  год.

##### Задача 2

Визначити показники надійності й продуктивності лінії, яка складається з чотирьох автоматів, інтенсивність відмов яких  $\lambda_i = 0,32$  1/год, а середній час відновлення  $T_{di} = 0,25$  год. Номінальна продуктивність 800 шт./год, обсяг завдання – 4500 шт., заданий час виконання завдання  $t_0 = 1,4$  год.

##### Задача 3

Визначити показники надійності та продуктивності технологічної системи, що складається з п'яти автоматів, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.2.

Таблиця 2.2 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3	Автомат 4	Автомат 5
Продуктивність, шт./год	1000	600	600	120	150
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,04	0,05	0,02	0,04
Середній час відновлення, год	0,05	0,04	0,03	0,03	0,03

*Вихідні дані:*  $V_0 = 1000$  шт.;  $t_0 = 6$  год;  $r = 1$ ;  $n = 5$ .

#### Задача 4

Визначити показники надійності й продуктивності лінії, що складається з чотирьох автоматів, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.3.

Таблиця 2.3 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3	Автомат 4
Продуктивність, шт./год	700	700	700	700
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,04	0,04	0,04
Середній час відновлення, год	0,2	0,2	0,2	0,2

Вихідні дані:  $V_0 = 3000$  шт.;  $t_0 = 5$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

#### Задача 5

Визначити показники надійності й продуктивності лінії, що складається з трьох автоматів, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.4.

Таблиця 2.4 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат 1	Автомат 2	Автомат 3
Продуктивність, шт./год	300	300	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,03	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,01	0,01	0,01

Вихідні дані:  $V_0 = 5000$  шт.;  $t_0 = 4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

#### Задача 6

Технологічна система призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очищення й зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем. Склад і параметри технологічної системи наведено в таблиці 2.5.

Таблиця 2.5 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 600$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 7

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.6.

Таблиця 2.6 – Склад технологічної системи

Параметри	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 4500$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 8

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.7.

Таблиця 2.7 – Склад технологічної системи

Параметри	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	40	40	40	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 400$  шт.;  $t_0 = 1$  год;  $r = 11,05$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 9

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.8.

Таблиця 2.8 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат розпаковування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,01	0,04
Середній час відновлення, год	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 3,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 10

Технологічна система, призначена для автоматизованого формування, очищення й зварювання каркасів, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.9.

Таблиця 2.9 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат лудіння	Універсальний автомат паяння
Продуктивність, шт./год	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0 = 5000$  шт.;  $t_0 = 13,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 11

Технологічна система, призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очищення й зварювання секцій виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.10.

Таблиця 2.10 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	500	500	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0400	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 600$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 12

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.11.

Таблиця 2.11 – Склад технологічної системи

Параметри	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 450$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 13

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.12.

Таблиця 2.12 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 5000$  шт.;  $t_0 = 3,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 14

Технологічна система, призначена для автоматизованого формування, очищення й зварювання каркасів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.13.

Таблиця 2.13 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0 = 5800$  шт.;  $t_0 = 13,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 15

Технологічна система, призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очищення й зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.14.

Таблиця 2.14 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1650
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 4,4$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 16

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.15.

Таблиця 2.15 – Склад технологічної системи

Параметри	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	800	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

Вихідні дані:  $V_0 = 300$  шт.;  $t_0 = 4,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 17

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.16.

Таблиця 2.16 – Склад технологічної системи

Параметри	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	40	40	40	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 4000$  шт.;  $t_0 = 11,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 18

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.17.

Таблиця 2.17 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,04	0,01	0,02
Середній час відновлення, год	0,30	0,03	0,05

Вихідні дані:  $V_0 = 1700$  шт.;  $t_0 = 13,8$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .



### Задача 19

Технологічна система, призначена для автоматизованого формування, очищення й зварювання каркасів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.18.

Таблиця 2.18 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	900	1200	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,25	0,25	0,25
Середній час відновлення, год	0,02	0,03	0,04

Вихідні дані:  $V_0 = 800$  шт.;  $t_0 = 13,05$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 20

Технологічна система, призначена для автоматизованого виконання операцій формування, очищення й зварювання корпусів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.19.

Таблиця 2.19 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат формування	Автомат очищення	Універсальний автомат зварювання
Продуктивність, шт./год	600	600	1600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,0300	0,0100	0,0002
Середній час відновлення, год	0,50	0,05	0,03

Вихідні дані:  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 3$ .

Визначити:  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

### Задача 21

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.20.

Таблиця 2.20 – Склад технологічної системи

Параметри	Блок флюсування	Блок підігрівання	Блок зварювання	Блок відмивання та сушіння
Продуктивність, шт./год	600	800	800	800
Інтенсивність відмов, 1/год	0,32	0,32	0,32	0,32
Середній час відновлення, год	0,25	0,25	0,25	0,25

*Вихідні дані:*  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

*Визначити:*  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 22

Технологічна система, призначена для зварювання корпусів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.21.

Таблиця 2.21 – Склад технологічної системи

Параметри	Модуль флюсування	Модуль підсушування	Модуль попереднього підігрівання	Модуль зварювання
Продуктивність, шт./год	400	400	400	400
Інтенсивність відмов, 1/год	0,252	0,252	0,252	0,252
Середній час відновлення, год	0,05	0,05	0,05	0,05

*Вихідні дані:*  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 6,2$  год;  $r = 1$ ;  $n = 4$ .

*Визначити:*  $P_3(t_0, V_0)$ ,  $T_3(V_0)$ ,  $Q_{cp}(V_0)$ ,  $Q_{cp}(t_0)$ .

#### Задача 23

Технологічна система, призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.22.

Таблиця 2.22 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат хімічної підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	—	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	—	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	—	1000	—

*Вихідні дані:*  $V_0 = 120$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год.

*Визначити:*  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 24

Технологічна система, призначена для складання й регулювання блоків виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.23.

Таблиця 2.23 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1000$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 25

Технологічна система, призначена для виготовлення блоків виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.24.

Таблиця 2.24 – Склад технологічної системи

Параметри	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 26

Технологічна система, призначена для складання та регулювання блоків виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.25.

Таблиця 2.25 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	40
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

*Вихідні дані:*  $V_0 = 1500$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

*Визначити:*  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 27

Технологічна система, призначена для виготовлення блоків виробів газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.26.

Таблиця 2.26 – Склад технологічної системи

Параметри	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

*Вихідні дані:*  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

*Визначити:*  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 28

Технологічна система, призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.27.

Таблиця 2.27 – Склад технологічної системи

Параметри	Автоматична лінія підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	–	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	–	1000	–

*Вихідні дані:*  $V_0 = 120$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год.

*Визначити:*  $K_r, P_3(t_0, V_0)$ .

#### Задача 29

Технологічна система, призначена для нанесення розмітки на заготовки деталей газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.28.

Таблиця 2.28 – Склад технологічної системи

Параметри	Автоматична лінія підготовки поверхні	Накопичувач	Установка нанесення розмітки
Продуктивність, шт./год	600	–	600
Інтенсивність відмов, 1/год	0,1	0,1	0,1
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	200	100
Середній час відновлення, год	0,3	0,1	0,3
Ємність накопичувача, шт.	–	1000	–

Вихідні дані:  $V_0 = 1200$  шт.;  $t_0 = 1,4$  год,  $r = 1$

Визначити:  $K_z$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 30

Технологічна система, призначена для складання та регулювання блоків газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено в таблиці 2.29.

Таблиця 2.29 – Склад технологічної системи

Параметри	Автомат складання	Накопичувач	Автомат регулювання
Продуктивність, шт./год	50	–	50
Інтенсивність відмов, 1/год	0,030	0,002	0,010
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	100	–
Середній час відновлення, год	0,5	0,5	0,5
Ємність накопичувача, шт.	–	300	–

Вихідні дані:  $V_0 = 500$  шт.;  $t_0 = 10$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

### Задача 31

Технологічна система, призначена для складання блоків газового обладнання й трубопровідних систем, склад і параметри якої наведено 2.30.

Таблиця 2.30 – Склад технологічної системи

Параметри	Установка складання	Накопичувач	Установка контролю
Продуктивність, шт./год	150	–	130
Інтенсивність відмов, 1/год	0,100	0,001	0,001
Рівень початкового заповнення накопичувача, шт.	–	20	–
Середній час відновлення, год	0,10	0,06	0,20
Ємність накопичувача, шт.	–	50	–

Вихідні дані:  $V_0 = 7500$  шт.;  $t_0 = 8$  год.

Визначити:  $K_r$ ,  $P_3(t_0, V_0)$ .

## 2.2 Інженерне розрахування надійності технологічних систем за параметрами якості виробів газового обладнання й трубопровідних систем

### 2.2.1 Розрахункові методи визначення показників

#### 2.2.1.1 Метод випадкових функцій

Показники точності технологічної системи визначаються за допомогою методу випадкових функцій шляхом розрахування характеристик випадкового процесу змінювання контрольного параметра  $x(t)$  – математичного очікування  $m\{x(t)\}$  і дисперсії  $D\{x(t)\}$  [30].

Вихідні дані для визначення величин  $m\{x(t)\}$  і  $D\{x(t)\}$  отримують під час вибіркового розгляду не менше ніж десяти реалізацій технологічного процесу.

Отримані внаслідок розгляду значення контрольованих параметрів деталей заносять у таблицю (табл. 2.31), в якій  $t_1, t_2, \dots, t_k, \dots, t_l, \dots, t_m$  позначають номери послідовно оброблюваних деталей однієї партії (або моменти часу проведення вимірювань), а за допомогою  $x_1(t), x_2(t), \dots, x_n(t)$  визначають окремі реалізації технологічного процесу (партії або вибірки з партії).

Таблиця 2.31 – Значення контрольних параметрів деталей

$x(t)$	$t$							
	$t_1$	$t_2$	...	$t_k$	...	$t_l$	...	$t_m$
$x_1(t)$	$x_1(t_1)$	$x_1(t_2)$	...	$x_1(t_k)$	...	$x_1(t_l)$	...	$x_1(t_m)$
$x_2(t)$	$x_2(t_1)$	$x_2(t_2)$	...	$x_2(t_k)$	...	$x_2(t_l)$	...	$x_2(t_m)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_j(t)$	$x_j(t_1)$	$x_j(t_2)$	...	$x_j(t_k)$	...	$x_j(t_l)$	...	$x_j(t_m)$
...	...	...	...	...	...	...	...	...
$x_n(t)$	$x_n(t_1)$	$x_n(t_2)$	...	$x_n(t_k)$	...	$x_n(t_l)$	...	$x_n(t_m)$

Значення  $t_1, t_2, \dots, t_m$  необхідно задавати рівномірними:

$$(t_2 - t_1 = t_3 - t_2 = \dots = t_m - t_{m-1}). \quad (2.50)$$

Залежно від обсягу партії різницю варто підбирати таким чином, щоб кількість деталей  $m$  в одній партії або реалізації була не меншою за десять.

Оцінки математичних очікувань  $m\{x(t_k)\}$  та дисперсій  $D\{x(t_k)\}$  обчислюють за формулами

$$m\{x(t_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^n x_j(t_k)}{n}; \quad (2.51)$$

$$D\{x(t_k)\} = \frac{\sum_{j=1}^n [x_j(t_k) - m\{x(t_k)\}]^2}{n-1}; \quad (2.52)$$

або

$$D\{x(t_k)\} = \left[ \frac{\sum_{j=1}^n [x_j(t_k)]^2}{n} - [m\{x(t_k)\}]^2 \right] \cdot \frac{n}{n-1}, \quad (2.53)$$

де  $x_j(t_k)$  – значення  $j$ -ї реалізації в момент  $t_k$ ;

$n$  – кількість реалізацій.

На приведених формулах базується метод випадкових функцій [30].

### 2.2.1.2 Метод елементарних похибок

Оцінювання показників точності технологічної системи за допомогою методу елементарних похибок провадиться на підставі розрахування сумарної похибки контрольованого параметра. Вихідними даними є значення величин елементарних похибок (похибок установаження деталі в пристрій, геометричної похибки технологічного обладнання, похибки налаштування обладнання, похибок, спричинених тепловими деформаціями тощо).

Запропонований метод необхідно застосовувати на етапі технологічної підготовки виробництва, коли вибірковий розгляд технологічного процесу є недоцільним.

Якщо елементарні похибки взаємно незалежні, сумарну похибку  $\delta_\Sigma$  контрольованого параметра визначають за формулою:

$$\delta_\Sigma = k \cdot \sqrt{\lambda_1 \Delta_1^2 + \lambda_2 \Delta_2^2 + \dots + \lambda_n \Delta_n^2}, \quad (2.54)$$

де  $\Delta_1, \Delta_2, \dots, \Delta_n$  – паралельні значення елементарних похибок;

$k$  – коефіцієнт ризику;

$\lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_n$  – коефіцієнти, які враховують закон розподілу елементарних похибок.

Коефіцієнт ризику  $k$  обирають залежно від прийнятого ризику  $P$ .

За нормального закону розподілу елементарних похибок і ймовірного їхнього виходу за межі поля допуску значення  $P$  поєднується зі значенням функції Лапласа  $\Phi(k)$  за формулою

$$P=100 \cdot [1-2\Phi(k)] \%. \quad (2.55)$$

Ряд значень коефіцієнта  $k$  наведено в таблиці 2.32.

Таблиця 2.32 – Значення коефіцієнтів  $k$

$P, \%$	32,00	10,00	4,50	1,00	0,27	0,10	0,01
$k$	1,00	1,65	2,00	2,57	3,00	3,29	3,89

На приведених формулах і значеннях коефіцієнтів базується метод елементарних похибок [31, 32].

## 2.2.2 Дослідно-статистичні методи оцінювання точності технологічних систем

### 2.2.2.1 Метод точкових діаграм

Контроль точності за альтеративною ознакою для технологічної системи за методом точкових діаграм здійснюють шляхом побудови графіків (точкових діаграм), на яких по осі абсцис відкладають умовні номери заготовок, що обробляються, відповідно до їхнього оброблення (або часу завершення оброблення), по осі ординат – виміряні значення контрольованого параметра та порівняння їх значень із заданими граничними значеннями  $X_v$  і  $X_n$ .

Графіки будують за даними протоколів вимірювань.

Залежно від мети дослідження й виду технологічного процесу на один графік наносять задані граничні значення контрольованого параметра й результатів вимірювання деталі вибірок.

Вибірки провадяться з однієї партії деталей, послідовно оброблених на одній одиниці технологічного обладнання при одному настроюванні. Схематичне зображення однієї точкової діаграми випадкового процесу змінювання значень контрольованого параметра  $x(t)$  наведено на рисунку 2.1.

За цим графіком проводиться контроль точності однієї обраної реалізації технологічного процесу.

Вибірки проводяться з декількох партій деталей, отриманих унаслідок оброблення деталей на одній одиниці технологічного обладнання при різних її налаштуваннях або замінюванні інструменту.



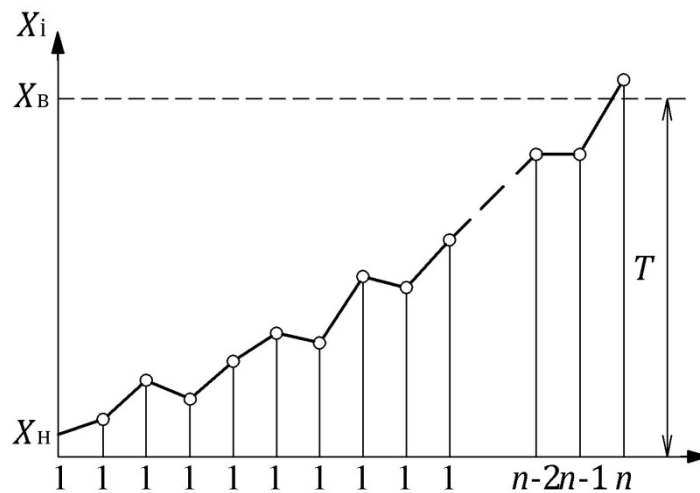


Рисунок 2.1 – Схематичне зображення точкової діаграми випадкового процесу змінювання значень контрольованого параметра  $x(t)$ :  
 $T$  – допуск на контрольний параметр

У цьому разі на графік наносять декілька реалізацій випадкового процесу змінювання значень контрольованого параметра  $x(t)$  отриманих на одній одиниці технологічного обладнання. Схематичне зображення подано на рисунку 2.2.

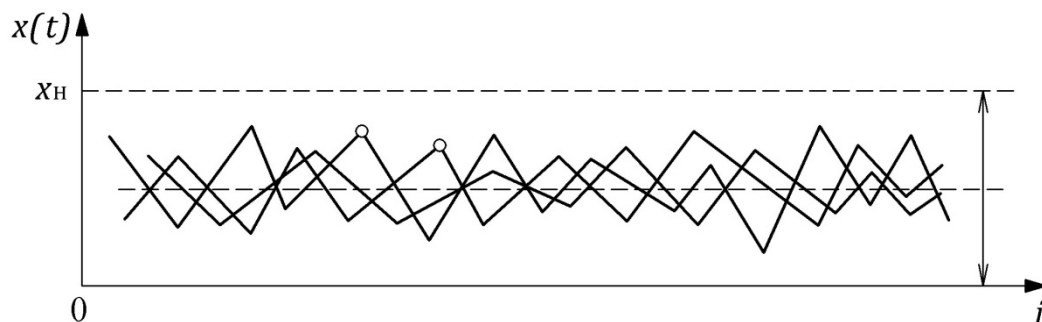


Рисунок 2.2 – Графік декількох реалізацій випадкового процесу змінювання значень контрольованого параметра  $x(t)$ , отриманих на одній одиниці технологічного обладнання

За цим графіком здійснюється контроль точності технологічної системи.

Вибірки проводяться з декількох партій деталей, отриманих унаслідок різноманітного оброблення однойменних деталей при різних налаштуваннях на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують однакову операцію.

У цьому разі на графік наносять декілька реалізацій випадкового процесу змінювання значень контрольованого параметра  $x(t)$ , отриманих на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують цю операцію.

Під час побудови графіків однієї реалізації варто обирати значення контрольованого параметра, отримані за постійних умов оброблення (одна партія, одне налаштування, один інструмент тощо) [30].

#### *2.2.2.2 Метод миттєвих вибірок*

Показники точності технологічних систем визначаються шляхом добору миттєвих вибірок з потоку продукції, яка виготовляється або ремонтується.

У загальному випадку показники точності технологічних систем отримують за даними об'єднаної вибірки, що складається з серії миттєвих вибірок, здійснених через певні інтервали часу виготовлення партії встановленого обсягу при різних рівнях факторів, які впливають на точнісні характеристики технологічних систем.

До того ж, залежно від цілей перевірки партією встановленого обсягу вважають:

- партію деталей, оброблених за однакових налаштувань на одній одиниці технологічного обладнання;
- партію деталей, оброблених при декількох налаштуваннях на одній одиниці технологічного обладнання;
- партію деталей, оброблених при декількох видах налаштування на декількох одиницях технологічного обладнання, що виконують однакову операцію.

Коефіцієнт точності технологічної системи

$$K_T = \frac{\omega}{T}. \quad (2.56)$$

Величину  $\omega$  обчислюють за формулою

$$\omega = x_{\max} - x_{\min}, \quad (2.57)$$

де  $x_{\max}$ ,  $x_{\min}$  – максимальне та мінімальне значення контрольованого параметра в об'єднаній виборці.

Приведені формули використовують під час розрахування точності в технологічних системах з використання методу миттєвих вибірок.

#### *2.2.2.3 Метод приведених відхилень*

Контроль точності технологічних систем за альтернативною ознакою методом приведених відхилень здійснюють шляхом розрахування приведених відхилень (під якими розуміють відхилення контрольованого

параметра відносно його номінального значення, виражене у відносних одиницях) і перевірки їх відповідності необхідним значенням.

Цей метод застосовують при одиничному та дрібносерійному виробництвах, коли кількість однойменних деталей, що обробляються, менша за обсяг, необхідний для визначення показника точності технологічних систем, обчислених за допомогою розрахункових методів.

Приведені відхилення розраховуються за вибірками. В одну вибірку включаються деталі, що характеризуються конструктивною подібністю, спільністю технологічних процесів оброблення (методів оброблення, технологічного обладнання й оснащення, що застосовуються, матеріалу заготовок тощо), які різняться номінальними значеннями контролюваного параметра (розміру).

Відхилення розмірів вимірних деталей, об'єднаних в одну вибірку, приводять до єдиного масштабу шляхом обчислення приведених відхилень.

Приведені відхилення ( $\Delta_{\text{при}}$ ) обчислюють за наступними формулами:

– у разі розрахування відносного нижнього граничного відхилення  $\Delta_{\text{ни}}$  (рис. 2.3), що співвідноситься з цим номінальним розміром:

$$\Delta_{\text{при}} = \frac{\Delta_{\text{дi}} - \Delta_{\text{ни}}}{T_i}, \quad (2.58)$$

де  $\Delta_{\text{при}}$  – наведене відхилення розміру  $i$ -ї деталі;

$\Delta_{\text{дi}}$  – дійсне відхилення розміру  $i$ -ї деталі;

$\Delta_{\text{ни}}$  – нижнє граничне відхилення розміру  $i$ -ї деталі;

$T_i$  – допуск на розмір  $i$ -ї деталі;

– у разі розрахування відносного верхнього відхилення  $\Delta_{\text{ви}}$ , що співвідноситься з цим номінальним розміром

$$\Delta_{\text{при}} = \frac{\Delta_{\text{ви}} - \Delta_{\text{дi}}}{T_i}; \quad (2.59)$$

– у разі розрахування відносно координати середини поля допуску  $\Delta_{0i}$ , що співвідноситься з цим номінальним розміром:

$$\Delta_{\text{при}} = \frac{2(\Delta_{\text{дi}} - \Delta_{0i})}{T_i}. \quad (2.60)$$

Наведені відхилення параметрів форми та розташування поверхонь деталей, об'єднаних в одну вибірку, обчислюють за формулою

$$\Delta_{npi} = \frac{\Delta_{di}}{T_{fi}}, \quad (2.61)$$

де  $T_{fi}$  – допуск на параметр форми або розташування поверхонь  $i$ -ї деталі.

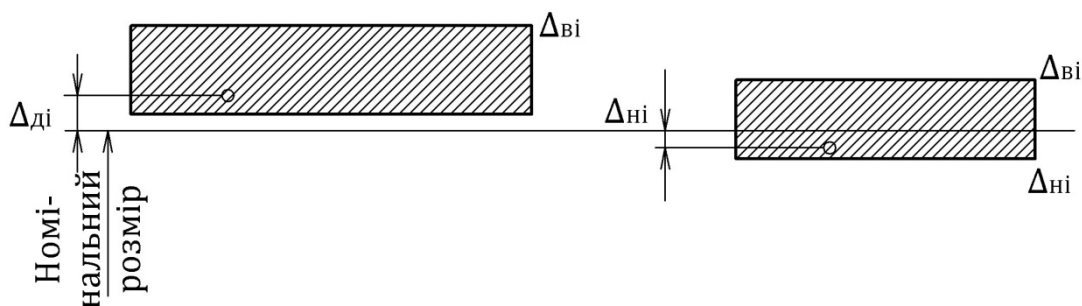


Рисунок 2.3 – Відхилення розмірів від номіналу

Точність технологічної системи вважається задовільною у разі виконання такої умови:

$$0 \leq \Delta_{npi} \leq 1. \quad (2.62)$$

Приведені формули забезпечують розрахунок контролю точності технологічних систем з використанням методу приведених відхилень [30, 36].

### 2.2.3 Приклади розв'язання задач

#### Задача 1

Оцініть точність технологічної системи за допомогою методу наведених відхилень.

#### Вихідні дані

Унаслідок вимірювання розмірів фланців із діаметром 450Н9 і 350Н9 отримано вісім значень:

$$x_1 = 460,03 \text{ мм}; x_2 = 460,06 \text{ мм}; x_3 = 460,09 \text{ мм}; x_4 = 460,12 \text{ мм};$$

$$y_1 = 350,02 \text{ мм}; y_2 = 350,05 \text{ мм}; y_3 = 350,06 \text{ мм}; y_4 = 350,10 \text{ мм}.$$

На рисунку 2.4 показано розташування відхилень обмірюваних розмірів у межах полів допуску.

### Розв'язання

Визначимо зазначені відхилення:

– для фланця із діаметром 460Н9:

$$\Delta_{\text{пр1}}^{x_1} = \frac{30}{155} = 0,19; \quad \Delta_{\text{пр2}}^{x_2} = \frac{60}{155} = 0,38;$$

$$\Delta_{\text{пр3}}^{x_3} = \frac{90}{155} = 0,58; \quad \Delta_{\text{пр4}}^{x_4} = \frac{120}{155} = 0,77.$$

– для фланця із діаметром 350Н9:

$$\Delta_{\text{пр1}}^{y_1} = \frac{20}{140} = 0,14; \quad \Delta_{\text{пр2}}^{y_2} = \frac{50}{140} = 0,35;$$

$$\Delta_{\text{пр3}}^{y_3} = \frac{60}{140} = 0,42; \quad \Delta_{\text{пр4}}^{y_4} = \frac{100}{140} = 0,71.$$

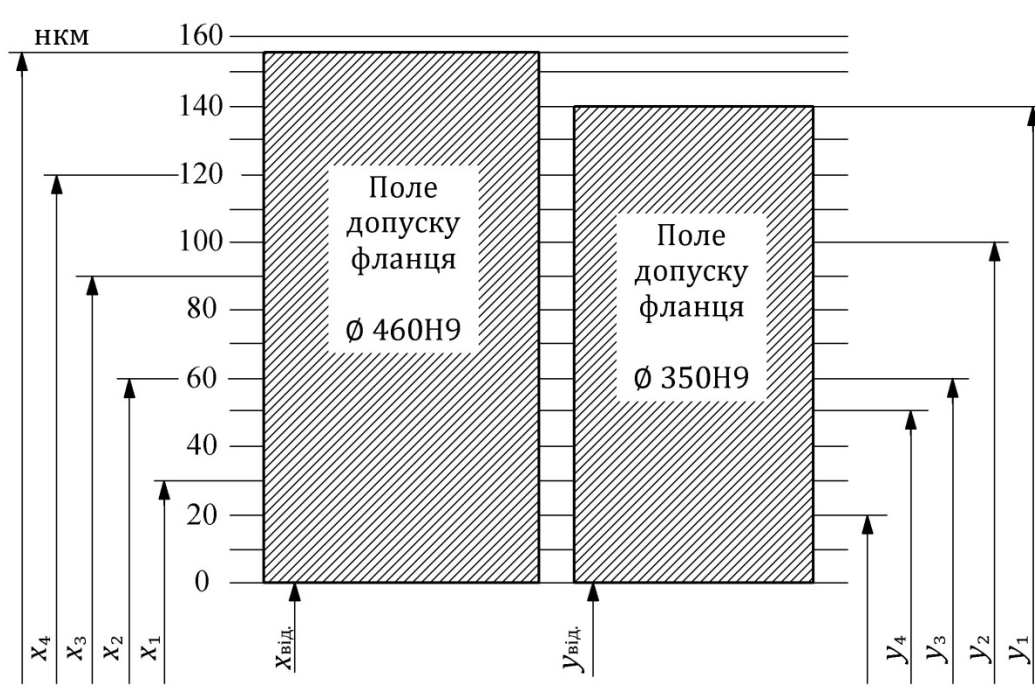


Рисунок 2.4 – Розташування відхилень обмірювальних розмірів у межах полів допуску

Оскільки розраховані значення задовольняють умові, точність технологічної системи можна вважати задовільною.

### Задача 2

Визначити коефіцієнт точності технологічної системи операції обробки корпусної заготовки, закріпленої в пристрої на столі вертикально-фрезерного верстака, торцевою фрезою, установленою в шпинделі (за допомогою оправки).

### *Вихідні дані*

Відповідно до схеми фрезерування сумарна похибка контрольованого параметра включає такі елементарні похибки:

- геометричну похибку верстата –  $\Delta_1 = 30$  мкм;
- похибку базування –  $\Delta_2 = 0$  (внаслідок збігу вимірювальної та установочної бази);
- похибку закріплення –  $\Delta_3 = 20$  мкм;
- похибку виготовлення пристрою –  $\Delta_4 = 20$  мкм;
- похибку виготовлення інструмента –  $\Delta_5 = 0$  (припускаємо, що налаштування на розмір проводять на найбільш висунутому зубу фрези, і, як наслідок, биття зубів не впливає на контрольований параметр);
- похибку настроювання фрези на розмір –  $\Delta_6 = 40$  мкм;
- похибку, обумовлену розмірним спрацюванням інструмента –  $\Delta_7 = 0$  (вважаємо, що її можна компенсувати шляхом підналаштування фрези);
- похибку вимірювань –  $\Delta_8 = 90$  мкм;
- похибку, спричинену відтисканням фрези від заготовок під дією сил різання –  $\Delta_9 = 30$  мкм.

Допуск на контрольований параметр  $T$  дорівнює 200 мкм.

### *Розв'язання*

Визначимо величину сумарної похибки контрольованого параметра  $\delta_\Sigma$ .

Значення коефіцієнтів  $\lambda_1, \dots, \lambda_9$  приймаємо рівним 0,111, вважаючи, що умови оброблення заготовки такі, що розподіл елементарних похибок буде близьким до закону Гауса.

Приймаємо ризик  $P = 1$  % та за таблицею 2.33 знаходимо значення  $K$ , яке дорівнює 2,57.

Визначаємо величину  $\delta_\Sigma$  за формулою

$$\delta_\Sigma = 2,57 \sqrt{0,111 \cdot 30^2 + 0,111 \cdot 20^2 + 0,111 \cdot 40^2 + 0,111 \cdot 90^2 + 0,111 \cdot 30^2} = 958 \text{ мкм.}$$

Визначаємо коефіцієнт точності:

$$K_T = \frac{\delta_\Sigma}{T} = 90/200 = 0,47.$$

## 2.2.4 Задачі для самостійного розв'язання

### *Задача 1*

Визначити коефіцієнт точності технологічної системи за даними вибіркового обстеження дванадцяти реалізацій, наведених в таблиці 2.33, якщо допуск  $T = 20$  мкм.

## Задача 2

Визначити коефіцієнт точності технологічної системи за даними вибіркового обстеження 11 реалізацій, наведеними в таблиці 2.34 та для допуску  $T = 40$  мкм.

Таблиця 2.33 – Експериментальні значення

$x(t)$	$t$											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
$x_1(t)$	9,8	9,9	9,8	9,8	9,6	10,0	10,0	9,9	9,8	10,0	9,9	10,0
$x_2(t)$	9,7	9,8	9,8	10,0	9,9	10,0	10,1	10,1	10,0	9,9	9,8	9,6
$x_3(t)$	9,9	9,7	9,9	10,0	9,9	10,0	10,1	10,0	10,1	10,1	9,8	9,7
$x_4(t)$	9,9	9,7	9,6	10,0	10,0	9,9	9,9	10,0	9,9	10,1	9,7	9,6

Таблиця 2.34 – Експериментальні значення

$x(t)$	$t$										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
$x_1(t)$	12	13	12	10	12	10	8	8	7	6	4
$x_2(t)$	14	12	12	10	8	8	8	7	6	5	1
$x_3(t)$	18	12	10	8	6	6	6	6	5	4	8
$x_4(t)$	12	9	8	6	4	4	7	5	4	3	4

В таблицях 2.33 і 2.34 приведені експериментальні значення коефіцієнта точності технологічної системи відповідно до даних дванадцяти й одинадцяти реалізацій похибок контрольованого параметра [32, 36].

## **3 ТЕХНІЧНА ПІДГОТОВКА ВИРОБНИЦТВА Й РЕМОНТУ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

### **3.1 Технічна документація ремонтно-механічних підприємств**

Технологічну документацію на відновлення деталей складають, використовуючи класифікацію й типізацію деталей та їх поверхонь, базуючись на технологічних процесах відновлення деталей і типових поверхонь. Типові поверхні є найбільш загальними первинними елементами деталей, стан яких обумовлює працездатність і термін використання останніх. У процесі експлуатації не всі поверхні одночасно втрачають працездатність, тому зазвичай виникає необхідність відновлення окремих поверхонь деталей. Використовуючи комплекс технологічних процесів відновлення типових поверхонь, можна комбінувати будь-які технологічні маршрути відновлення деталей, вузлів, агрегатів тощо.

Первинним документом, у якому визначено перелік дефектів, що усуваються, застосовувані способи відновлення, вимоги до якості відновлюваних деталей, є ремонтне креслення. Це конструкторський документ, який розробляють на базі робочих креслень на виготовлення деталей. Для розроблення, узгодження, затвердження й реєстрації ремонтних креслень розроблено галузевий стандарт, у якому зазначено, що ремонтні креслення є робочими конструкторськими документами, призначеними для організації ремонтного виробництва.

У ремонтному кресленні має бути наведено зображення відновлюваної деталі, технічні вимоги, специфікацію ремонтного складального креслення, таблицю дефектів, за наявності деталей не приймають на відновлення, рекомендований маршрут відновлення. За необхідності у ремонтних кресленнях подають вказівки щодо базування й таблицю ремонтних розмірів.

У технічних вимогах вказують допустимі відхилення розмірів, шорсткість відновлених поверхонь, розкид твердості, допустимість наявності пор, раковин і відшаровувань, міцність зчеплення нанесеного шару й інших параметрів, обумовлених тим чи іншим способом відновлення.

Дефектна відомість, прикладена як додаток до ремонтного креслення, містить перелік дефектів, за наявності яких деталь підлягає відновленню, вказівки щодо їхньої величини, коефіцієнти повторюваності дефектів, базовий та припустимі способи усунення дефектів.



У разі відновлення деталей за допомогою зварювання, наплавлення, напилювання або іншого способу зазначають найменування, марку, розміри використовуваного матеріалу, захисне середовище [13].

Ремонтні креслення із дефектною відомістю розробляють у два етапи: для дослідного відновлення (літера РО) та серійного відновлення деталей (літера РА). На ремонтному кресленні можуть бути зазначені вказівки на декілька варіантів відновлення одних і тих самих елементів деталі із відповідними роз'ясненнями. На кожен принципово відмінний варіант відновлення деталі (наприклад на пластичну деформацію, заливку рідини металом тощо) складають окремий ремонтний документ – відомість, креслення. У позначення цих ремонтних креслень через тире додають римську цифру I, II або III, тобто позначають перший, другий і наступні варіанти відновлення відповідно. До того ж перший варіант є основним.

В останні роки в газових господарствах, на підприємствах видобутку й транспортування газу ремонтні креслення з літерами РА за марками обладнання та їхніми модифікаціями (агрегатами) почали тиражувати з метою забезпечення зацікавлених відомств і організацій. Отже, фактично була створена галузева стандартна документація, яка передбачає розроблення одиничних і типових технологічних процесів. Одиничні технологічні процеси розробляють переважно для спеціалізованих виробництв, а типові – для підприємств, які здійснюють відновлення деталей для власних потреб.

Технічну документацію із відновлення типових поверхонь оформлюють як типові технологічні процеси [18].

Типові технологічні процеси відновлення типових поверхонь повинні супроводжуватися ремонтними кресленнями, які містять технологічний маршрут і вказівки щодо базування деталей. До того ж ремонтне креслення використовують як карту ескізів. На кожну поверхню може бути розроблено декілька технологічних процесів із вказівкою доцільності галузі їхнього застосування залежно від умов роботи сполучень і технічних вимог до певних деталей.

На ремонтних підприємствах усіх типів і рівнів допускається застосування і типових, і одиничних технологічних процесів відновлення деталей.

Титульний лист (далі – ТЛ) оформляють на окремі технологічні процеси або групу таких процесів.

Маршрутна карта (далі – МК) є базовим та обов’язковим документом у комплекті на одиничні, типові та групові технологічні процеси. У ній описується увесь процес відповідно до технологічної послідовності виконання операцій. Усю інформацію записують в технологічній послідовності по довжині рядка з можливістю перенесення інформації на наступні рядки.

Перелік застосовуваного на ремонтних операціях технологічного оснащення викладають в такій послідовності: пристосування; інструменти – допоміжний, різальний, слюсарно-монтажний, спеціальний, застосовуваний під час виконання операцій, й засоби вимірювання.

У маршрутній карті вказують також кількість одночасно застосовуваних одиниць технологічного оснащення. Під час розроблення типових і групових технологічних процесів у карті зазначають тільки постійну інформацію, яка стосується усієї групи відновлюваних деталей чи поверхонь.

Спочатку в маршрутній карті типового технологічного процесу відновлення поверхні наводять інструктивні вказівки щодо застосування цього процесу (матеріал деталі, розміри поверхні, товщина покриття, яке наноситься в один чи декілька шарів, термічна обробка), щодо досягнутих якісних показників відновлюваних поверхонь під час використанні різних матеріалів (твердість, шорсткість, точність, наявність пор, свищів, суцільність покриття, міцність зчеплення, постійність заданих показників), щодо підготовки поверхонь до відновлення, можливості застосування різних матеріалів, модулів однотипного обладнання, пристосувань, оснащення, інструменту, а також наводять вимоги з техніки безпеки під час здійснення технологічного процесу.

Операційна карта (далі – ОК) призначена для опису технологічної операції із вказівками щодо послідовності виконання переходів, даних про засоби технологічного оснащення, технологічних режимів та трудовитрат. ОК оформляють на форматних листах. Умовне позначення такого документа – МК/ОК. МК/ОК застосовують під час розроблення одиничних технологічних процесів. У цьому документі наводять дані щодо технологічних режимів. Необхідних даних повинно бути достатньо для виконання операції із заданою якістю.

Карта типової або групової операції (далі – КТО) призначена для опису типової або групової технологічної операції, необхідно також вказати послідовність виконання переходів та загальних даних про технологічне

оснащення і режими. Умовне позначення такого виду документа – МК/КТО. В МК/КТО типового технологічного процесу відновлення типової поверхні додатково наводять інструктивні вказівки в текстовій формі, а за необхідності – із пояснювальним рисунком щодо виконання операції для різних типорозмірів відновлюваних поверхонь. Під час розроблення типового технологічного процесу МК/КТО застосовують разом із відомістю технологічного обладнання (далі – МК/ВТО).

У відомості деталей або складальних одиниць типового технологічного процесу або технологічної операції (далі – ВТП або ВТО) вказано склад деталей або типорозмірів поверхонь, відновлюваних за типовим технологічним процесом, і змінюваних даних про матеріал, засоби технологічного оснащення, режими оброблення й трудовитрати. ВТП (ВТО) оформляють на форматних аркушах. Умовне позначення документа – МК/ВТП (МК/ВТО). Під час розроблення типових технологічних процесів у МК/ВТО подають повний список необхідних даних за технологічними режимами. Режими виконання операцій вказують у таблиці, де зазначають усі типорозміри поверхонь, а за необхідності – розміри, яких потрібно досягти, та якісні показники поверхні після виконання операції. У таблиці також вказують норми штучного часу для всіх типорозмірів відновлюваних поверхонь. У разі застосування механічної обробки у таблиці зазначають кінцеві й проміжні розміри, а за необхідності (після переходів) – розміри відновлюваних поверхонь та їхню точність.

Відомість технологічних документів (далі – ВТД) регламентує склад технологічних документів, які застосовуються під час відновлення деталей, вона забезпечує їхнє комплектування. ВТД є обов’язковим документом, якщо в документації є посилання на типовий технологічний процес. Умовне позначення такого документа – МК/ВТД. Запис документів в МК/ВТД потрібно виконувати відповідно послідовності їхнього входження у відповідний технологічний процес.

Відомість обладнання (далі – ВО) складають на певний технологічний процес. ВО оформляють на форматних листах, умовне позначення цього документа – МК/ВО.

Карта ескізів (далі – КЕ) – графічний документ, якій містить ескізи, схеми й таблиці, і призначений для виконання технологічного процесу, операції або переходу відновлення деталей, включаючи контроль і пересування. КЕ виконують на форматних листах [33].

### 3.2 Види робіт щодо технічної підготовки виробництва і ремонту

#### 3.2.1 Визначення показників технічної підготовки виробництва і ремонту

Технічна підготовка виробництва – системно організований керований процес.

Метою технічної підготовки виробництва на етапі освоєння є забезпечення повної технічної готовності підприємства і його виробничих підрозділів до освоєння випуску нових виробів високої якості в установлені директивні терміни за умови ефективного використання обладнання, оснащення, виробничих площ, трудових, паливно-енергетичних, матеріальних та інших ресурсів.

Під повною технічною готовністю потрібно розуміти наявність на підприємстві, у його підрозділах комплексу конструкторсько-технологічної документації на всі освоювані види виробів, а також наявність необхідного технологічного обладнання, зокрема контрольного й випробувального, інструменту та засобів контролю, засобів механізації й автоматизації виробничих процесів, зокрема міжопераційних транспортних засобів, переміщення й складування нової продукції, що забезпечують випуск необхідної кількості нових виробів у задані терміни й за мінімальних витрат.

Для загального оцінювання технічної підготовки підприємства загалом можна використати інтегральний показник, що визначається як середньозважена величина значень часткових коефіцієнтів (табл. 3.1) [1]:

$$K_{\text{тг}} = \frac{\sum K_i \cdot m_i}{\sum m_i}; \quad (3.1)$$

де  $K_i$  – часткові коефіцієнти технічної готовності;

$m_i$  – вагомість  $i$ -го показника.

#### 3.2.2 Приклади розв'язання задач

##### *Задача 1*

Визначити рівень технічної готовності виробництва до випуску нового виробу газового обладнання й трубопровідних систем.

*Вихідні дані* для оцінювання часткових показників та інтегрального показника технічної готовності виробництва до випуску нового виробу наведені в таблиці 3.1.

Таблиця 3.1 – Співвідношення для розрахування коефіцієнтів технічної готовності виробництва і ремонту

Показник	Формула	Позначення
Коефіцієнт готовності технічної документації (креслень, технологічних процесів тощо)	$K_{\text{тд}} = \frac{T_{\text{ф}}}{T_{\text{п}}}$	$T_{\text{ф}}$ – фактична кількість на момент початку освоєння нових виробів; $T_{\text{п}}$ – загальна кількість креслень, технологічних процесів, передбачених за планом (розрахування)
Коефіцієнт забезпеченості виробничими потужностями	$K_{\text{м}} = \frac{M_{\text{ф}}}{M_{\text{р}}}$	$M_{\text{ф}}$ – фактична (наявна) середня річна потужність підприємства (провідного цеху, обладнання); $M_{\text{р}}$ – розрахункова (необхідна) потужність підприємства (провідного цеху, обладнання) з урахуванням обсягів випуску нового виробу
Коефіцієнт оснащеності нового виробу необхідним технологічним обладнанням, енергетичними установками, транспортними засобами	$K_{\text{об}} = \frac{C_{\text{ф}}}{C_{\text{п}}}$	$C_{\text{ф}}$ – фактична наявність певного типу обладнання, транспортних засобів тощо; $C_{\text{п}}$ – необхідна кількість певного типу обладнання, що забезпечує випуск нового виробу
Коефіцієнт готовності технологічного оснащення (штампів, пристосувань, прес-форм тощо) для нового виробу	$K_{\text{ос}} = \frac{O_{\text{ф}}}{O_{\text{п}}}$	$O_{\text{ф}}$ – фактична забезпеченість операцій технологічним оснащенням; $O_{\text{п}}$ – забезпеченість інструментом для виробництва на момент початку запланованого виготовлення нових виробів
Коефіцієнт забезпеченості виробництва нового виробу за допомогою інструменту загального і спеціального призначення	$K_{\text{п}} = \frac{P_{\text{ф}}}{P_{\text{п}}}$	$P_{\text{ф}}$ – фактична забезпеченість виробництва на момент початку виготовлення нових виробів; $P_{\text{п}}$ – забезпеченість інструментом для запланованого виробництва (нормативна)

### Розв'язання

Використовуючи формули таблиці 3.1, розрахуємо часткові коефіцієнти готовності.

Рівень готовності конструкторської документації визначають за формулою

$$K_{\text{кд}_1} = \frac{T_{\text{ф}_1}}{T_{\text{п}_1}}; \quad K_{\text{кд}_1} = \frac{450}{500} = 0,9.$$

Розрахуємо готовність технологічної документації –

$$K_{\text{тд}_2} = \frac{T_{\Phi_2}}{T_{\Pi_2}}; \quad K_{\text{тд}_2} = \frac{200}{350} = 0,57.$$

Розрахуємо готовність технологічного оснащення –

а) штампи:

$$K_{\text{ос}_1} = \frac{O_{\Phi_1}}{O_{\Pi_1}}; \quad K_{\text{ос}_1} = \frac{91}{100} = 0,91;$$

б) прес-форми:

$$K_{\text{ос}_2} = \frac{O_{\Phi_2}}{O_{\Pi_2}}; \quad K_{\text{ос}_2} = \frac{23}{128} = 0,18;$$

в) кондуктори:

$$K_{\text{ос}_3} = \frac{O_{\Phi_3}}{O_{\Pi_3}}; \quad K_{\text{ос}_3} = \frac{27}{50} = 0,54;$$

г) зварювальні пристрої:

$$K_{\text{ос}_4} = \frac{O_{\Phi_4}}{O_{\Pi_4}}; \quad K_{\text{ос}_4} = \frac{19}{25} = 0,76;$$

д) складальні пристрої:

$$K_{\text{ос}_5} = \frac{O_{\Phi_5}}{O_{\Pi_5}}; \quad K_{\text{ос}_5} = \frac{30}{40} = 0,75;$$

е) інші види оснащення:

$$K_{\text{ос}_6} = \frac{O_{\Phi_6}}{O_{\Pi_6}}; \quad K_{\text{ос}_6} = \frac{40}{44} = 0,90.$$

Загалом готовність за технологічним оснащенням складає –

$$K_{\text{ос}} = \frac{\sum K_{\text{ос}_i}}{\sum m_i};$$

$$K_{\text{ос}} = 0,91 \cdot 0,4 + 0,18 \cdot 0,4 + 0,54 \cdot 0,05 + 0,76 \cdot 0,05 + \\ + 0,75 \cdot 0,05 + 0,90 \cdot 0,05 = 0,54.$$

Розрахуємо забезпеченість спеціальним інструментом –

$$K_{\Pi} = \frac{P_{\Phi}}{P_{\Pi}}; \quad K_{\Pi} = \frac{28}{35} = 0,80.$$

Розрахуємо забезпеченість технологічним оснащенням –

а) обладнання з ЧПК:

$$K_{\text{од}_1} = \frac{C_{\Phi_1}}{C_{\Pi_1}}; \quad K_{\text{од}_1} = \frac{2}{4} = 0,5;$$

б) складальні робототехнічні комплекси:

$$K_{\text{од}_2} = \frac{C_{\Phi_2}}{C_{\Pi_2}}; \quad K_{\text{од}_2} = \frac{6}{8} = 0,75;$$

в) універсальне обладнання:

$$K_{\text{од}_3} = \frac{C_{\Phi_3}}{C_{\Pi_3}}; \quad K_{\text{од}_3} = \frac{6}{11} = 0,54.$$

Загалом коефіцієнт забезпеченості технологічним обладнанням складає:

$$K_{\text{од}} = \frac{\sum K_{\text{од}_i} \cdot m_i}{\sum m_i};$$

$$K_{\text{од}} = 0,5 \cdot 0,4 + 0,75 \cdot 0,5 + 0,54 \cdot 0,1 = 0,62.$$

Беручи до уваги значущість кожного часткового показника (табл. 3.2), розрахуємо інтегральний показник технологічної готовності виробництва до випуску нового виробу як середньозважену величину:

$$K_{m_2} = \frac{\sum K_{m_i} \cdot m_i}{\sum m_i};$$

$$K_{m_2} = 0,9 \cdot 0,1 + 0,57 \cdot 0,1 + 0,54 \cdot 0,3 + 0,8 \cdot 0,3 + 0,62 \cdot 0,2 = 0,673.$$

Галузевий рівень технічної готовності підприємства до освоєння виробництва нових виробів не перевищує 0,4–0,6.

Порівняння отриманого значення  $K_{m_2}$  з галузевими нормами доводить, що воно незначно перевищує їх. Отже, технічна підготовка виробництва нового виробу за заданим варіантом вихідних даних задовільна [38].

Таблиця 3.2 – Вихідні дані для аналізу виробництва і ремонту газового обладнання і трубопровідних систем

Показник	Обсяг випуску нового виробу										Коефіцієнт вагомості
	за планом (норматив)					фактичний на дату освоєння					
	Варіант										
	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5	
Забезпеченість конструкторською документацією, найменувань	500	520	550	480	510	450	460	440	470	430	0,10
Забезпеченість технологічною документацією, найменувань	350	370	340	330	360	200	230	190	220	200	0,10
Забезпеченість технологічним оснащенням, усього	387	365	390	395	382	230	240	228	235	250	0,30
Зокрема:											
– штампи, комплектів;	100	95	102	105	103	91	95	90	87	101	0,40
– прес-форми, комплектів;	128	126	120	128	100	26	30	26	22	32	0,40
– кондуктори, найменувань;	50	50	55	56	52	27	29	25	25	30	0,05
– зварювальні пристрої, найменувань;	25	22	25	30	20	19	20	18	21	24	0,05
– складальне пристрої, найменувань	40	40	42	45	50	30	32	28	29	35	0,05
Інше оснащення, найменувань	44	52	26	29	57	40	34	44	61	28	0,05
Забезпеченість спец. інструментом, найменувань	35	39	36	30	39	28	30	28	26	32	0,30
Забезпеченість обладнанням, усього	23	20	24	29	21	14	16	12	17	20	0,20
Зокрема:											
– верстати з ЧПК, найменувань	4	4	5	8	6	2	9	11	9	7	0,40
– робототехнічні системи, найменувань	3	6	11	8	10	6	10	8	14	12	0,50
– верстати універсальні, найменувань	11	14	10	6	12	6	12	12	16	11	0,10



### **3.3 Моделювання й оптимізація технологічного процесу виробництва та ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем**

#### **3.3.1 Методика моделювання технологічного процесу за допомогою методу планування екстремальних експериментів**

##### *3.3.1.1 Повний факторний експеримент*

Статистичні методи планування експерименту є різновидом емпіричних способів отримання математичного опису складних процесів. До того ж математичний опис зазвичай подається у вигляді полінома.

За планом експерименту визначається розташування експериментальних точок у  $k$ -вимірному факторному просторі, або, інакше кажучи, умови всіх необхідних дослідів. Зазвичай план експерименту подається у вигляді матриці планування, кожен рядок якої визначає умови дослідів, а кожен стовпець – значення однієї з незалежних змінних у різних дослідів.

Часто експериментаторові достатньо отримати математичну модель процесу у вигляді лінійного полінома, тоді кожен із факторів варіюється на двох рівнях. Якщо при цьому підтверджуються всі можливі комбінації з  $k$ -факторів, то експеримент за таким планом називається повним факторним експериментом типу  $2^k$ .

Математичний опис за допомогою методу повного факторного експерименту практично виконується в такому порядку:

- планування експерименту;
- проведення експерименту;
- перевірка відтворюваності;
- отримання математичної моделі об'єкта та перевірка статистичної значущості коефіцієнтів полінома;
- перевірка адекватності математичного опису[49].

##### *Планування експерименту*

Центр планування, або точка, довкола якої проводиться серія дослідів, обирається на підставі апріорних відомостей про процес, якщо ж вони відсутні, то центром плану зазвичай вважається центр досліджуваної області. Інтервали варіювання за кожною змінною вибираються такими, щоб збільшення величини вихідного параметра у до базового значення  $y_0$  можна було визначити на тлі шуму в разі невеликої кількості паралельних дослідів.

Зазвичай інтервал варіювання вибирають у межах 0,05–0,3 діапазону варіювання за цією змінною.

Далі для зручності оброблення результатів дослідів незалежні змінні  $X$  перетворюються до безрозмірних змінних:

$$x_i = \frac{X_i - X_{i0}}{\Delta X_i}, \quad (3.2)$$

де  $X_{i0}$  – базовий чи початковий рівень  $i$ -ї змінної;

$\Delta X_i$  – інтервал варіювання за  $i$ -ю змінною.

Припустимо, що є дві незалежні змінні  $X_1$  і  $X_2$ , до того ж значення кожної з них варіюються на двох рівнях. Нескладно зрозуміти, що всі можливі комбінації для двох факторів ( $k = 2$ ), які варіюються на двох рівнях, будуть вичерпані, якщо буде проведено чотири досліди ( $2^2 = 4$ ). Дослідження точки розташування у вершинах квадрата, центр якого збігається з центром плану наведено на рисунку 3.1. У безрозмірній системі координат верхній рівень (відповідно до рисунка 3.1) дорівнює +1, а нижній дорівнює –1, а координати центру плану дорівнюють нулю і співпадають із початком координат.

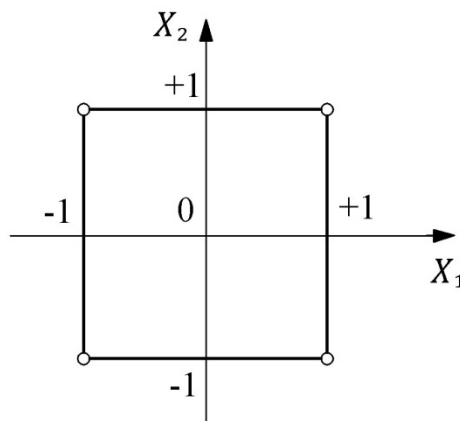


Рисунок 3.1 – Розташування точок, у яких проводиться дослід

Побудуємо матрицю планування такого вигляду (табл. 3.3):

– у першому стовпці наведено значення фіктивної змінної  $x_0 = 1$ , що відповідає коефіцієнту  $b_0$ ;

– значення верхнього й нижнього рівнів змінних для спрощення запису замінено символами (+) і (–) відповідно;

– у другому й третьому стовпцях наведено значення змінних  $x_1$  і  $x_2$ , або власне планування;

– у четвертому стовпці подано значення добутку  $x_1 x_2$ .

Під час побудови матриці планування можна скористатися таким правилом: перший рядок матриці планування обирають таким чином, щоб

керовані змінні розташовувалися на нижньому рівні (–); частота змінювання знака керованих змінних для кожної наступної змінної вдвічі менша порівняно з попередньою.

Таблиця 3.3 – Матриця планування  $2^2$

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_1x_2$	$y$
1	+	–	–	+	$y_1$
2	+	+	–	–	$y_2$
3	+	–	+	–	$y_3$
4	+	+	+	+	$y_4$

Керуючись цим правилом, легко побудувати матрицю і для більшої кількості змінних. Наприклад для трьох змінних ( $k = 3$ ), де кількість дослідів  $N = 2^3 = 8$ , матриця планування матиме такий вигляд (табл. 3.4).

Таблиця 3.4 – Матриця планування  $2^3$

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1x_2$	$x_1x_3$	$x_2x_3$	$x_1x_2x_3$	$y$
1	+	–	–	–	+	+	+	–	$y_1$
2	+	+	–	–	–	+	+	+	$y_2$
3	+	–	+	–	–	–	–	+	$y_3$
4	+	+	+	–	+	–	–	–	$y_4$
5	+	–	–	+	+	–	–	+	$y_5$
6	+	+	–	+	–	–	–	–	$y_6$
7	+	–	+	+	–	+	+	–	$y_7$
8	+	+	+	+	+	+	+	+	$y_8$

У цьому разі досліджувані точки розташовуються у вершинах куба з центром  $(0; 0; 0)$  (рис. 3.2).

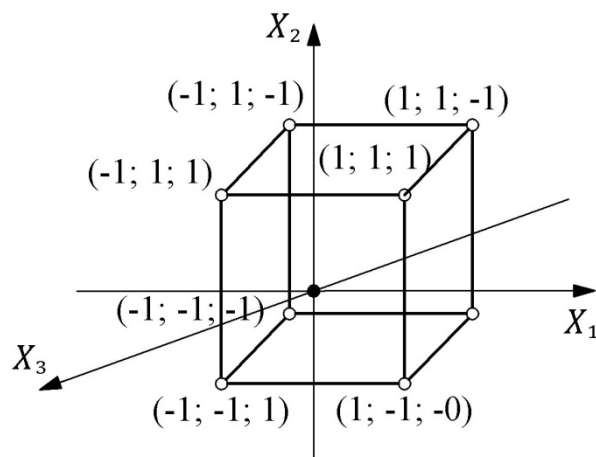


Рисунок 3.2 – Розташування точок, у яких проводиться дослід

Зазначимо деякі особливості наведених вище планів повного факторного експерименту.

По-перше, відповідно до цих планів, досліджувані точки розташовано оптимально, а саме: математичний опис процесу є найточнішим, порівняно з досліджуваними точками, розташованими якимось іншим чином.

По-друге, всі фактори і, відповідно, коефіцієнти полінома оцінюються незалежно один від одного, що забезпечується незалежністю й ортогональністю стовпців матриці планування.

Коли вплив на вихідний параметр членів  $x^2$  стає значним і необхідно оцінити коефіцієнти при цих членах, то за допомогою повного факторного експерименту не вдається окремо оцінити коефіцієнти  $b_0$ ,  $b_{11}$  і  $b_{22}$ , оскільки відповідні стовпці матриці планування будуть однаковими, а отже, матриця стає неортогональною щодо залежних стовпців [4].

#### *Проведення експерименту*

Під час дослідження процесу змінювання вихідної величини у внаслідок неконтрольованості факторів набуває ознак випадковості. Це обумовлює необхідність:

– проведення паралельних дослідів, результати яких –  $y_{q1}$ ,  $y_{q2}$ ,  $y_{q2}$  усереднюються:

$$\bar{y}_q = \frac{\sum_{l=1}^m y_{ql}}{m}, \quad (3.3)$$

де  $y_{ql}$  – значення параметра;

$l$  – номер дослідів;

$m$  – кількість паралельних дослідів;

– забезпечення випадкового порядку проведення експерименту, при якому всі неконтрольовані фактори були б рандомізовані.

Для цього перед безпосередньою реалізацією плану для кожної з  $m$  серій дослідів зазвичай за допомогою таблиці визначаються випадкові числа послідовного виконання дослідів на об'єкті.

#### *Перевірка відтворюваності*

Як відомо, навіть одна груба помилка може спотворити результати дослідження, проведеного за допомогою невеликої кількості експериментів. Цим обумовлюється необхідність контролю відтворюваності результатів досліджень, що здійснюється за допомогою критерію Кохрена.

Оцінки дисперсій  $S_q^2$  при цьому визначаються за формулою

$$S_q^2 = \frac{1}{m-1} \sum_{l=1}^m (y_{ql} - \bar{y}_q)^2. \quad (3.4)$$

Якщо перевірка показала, що експерименти відтворені, то їхні результати можна використовувати для оцінювання коефіцієнтів регресії; якщо ж експерименти не відтворені, то залишається визнати, що наявність неконтрольованих і некерованих факторів створює на виході занадто великий рівень шуму. Можна рекомендувати збільшити кількість паралельних дослідів.

*Отримання математичної моделі об'єкта з перевіркою статистичної значущості коефіцієнтів полінома*

Після виконання повного факторного експерименту дослідник отримує можливість незалежно оцінити коефіцієнти полінома за такою формулою

$$b_i = \frac{\sum_{q=1}^N x_{qi} \bar{y}_q}{N}, \quad (3.5)$$

де  $x_{qi}$  набуває значення +1 або -1 відповідно до матриці планування.

Таким чином, у чисельнику позначено суму середніх значень вихідного параметра за всіма дослідями з урахуванням рівня незалежної змінної  $x_i$  у  $g$ -му досліді.

Варто зазначити, що за допомогою попередньої формули можна визначити також коефіцієнти при добутках факторів  $x_i x_j$  ( $i \neq j$ ). Значення цих коефіцієнтів свідчать про те, якою мірою вплив одного фактора обумовлюється значенням іншого.

Після обчислення коефіцієнтів оцінюється їхня значущість для визначення ступеня впливу різних факторів на вихідний параметр. Щоб оцінити їхню значущість, зіставляються абсолютне значення коефіцієнта  $|b_i|$  і дисперсія помилки визначення коефіцієнта  $S^2\{b_i\}$ .

Значущість коефіцієнтів (перевірка нуль-гіпотези  $b_i = 0$ ) оцінюється за допомогою  $t$ -критерію Стюдента, де в чисельнику позначено  $|b_i|$ :

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}}. \quad (3.6)$$

У разі ортогонального планування дисперсії помилок усіх коефіцієнтів рівні між собою:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{Nm}. \quad (3.7)$$

Для визначення  $S^2\{y\}$  дисперсії відтворюваності можна скористатися групою вибірових дисперсій:

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{g=1}^N S_g^2}{N}. \quad (3.8)$$

Коефіцієнт  $b_i$  значущий, якщо  $t_i$  більше за значення  $t_{кр}$  для прийнятого рівня значущості  $q_{зн}$ , % і кількості степенів вільності  $\nu_{ан} = N(m-1)$ .

Статистична незначущість коефіцієнта  $b_i$  може бути спричинена такими обставинами:

– рівень базового режиму за даною змінною ( $x_{0i}$ ) (або за добутком змінних) близький до точки локального екстремуму:

$$b_i \approx \frac{\partial y(\bar{X}_0)}{\partial x_i} = 0; \quad (3.9)$$

- крок варіювання  $\Delta x_i$  змінної був обраний занадто малим;
- помилка експерименту внаслідок наявності некерованих і неконтрольованих змінних значна;
- фактор або взаємодія факторів не впливають на значення вихідного параметра.

Оскільки застосування ортогональних планів дає змогу оцінити значення всіх коефіцієнтів незалежно один від одного, то якщо один чи кілька коефіцієнтів виявляться незначущими, їх можна не враховувати. Відкинувши незначущі коефіцієнти, отримаємо рівняння зв'язку, у якому подано приведену лінійну залежність вихідного параметра від технологічних факторів [2].

#### *Перевірка адекватності математичного опису*

Математична модель має правильно, якісно й кількісно описувати властивості досліджуваного процесу, тобто бути адекватною. Для перевірки адекватності достатньо оцінити невідповідність вихідного параметра  $t_g$ , отриманого за допомогою рівняння значення, від результатів експерименту  $\bar{y}_g$  в точці  $\bar{X}_g$  факторного простору.

Оцінимо дисперсію адекватності:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{1}{N - \alpha} \sum_{g=1}^N \left( y_g - \hat{y}_g \right)^2, \quad (3.10)$$

де  $\alpha$  – кількість членів апроксимувального полінома.

Якщо  $\sigma_{\text{ад}}^2$  не перевищує дисперсії досліду  $\sigma^2\{y\}$ , то отримана математична модель адекватно подає результати експерименту, якщо ж  $\sigma_{\text{ад}}^2 > \sigma^2\{y\}$ , то й опис вважається неадекватним щодо об'єкта. Перевірка гіпотези про адекватність здійснюється за допомогою  $F$ -критерію Фішера.

Якщо обчислене значення критерію менше ніж  $F_{\text{кр}}$ , визначеного для прийнятого рівня значущості  $q_{\text{кр}}$ , %,  $\nu = N - \alpha$  і  $\nu_{\text{ад}2} = N(m - 1)$  степенів вільності, то модель визнається адекватною об'єктові.

У разі, якщо  $S_{\text{ад}}^2 \leq S^2\{y\}$ ,  $F$ -критерій менший або дорівнює одиниці і нерівність  $F < F_{\text{кр}}$  виконується завжди.

Очевидно, що перевірити адекватність за допомогою критерію Фішера можливо, якщо  $\nu_{\text{ад}} > 0$ ; при  $N = \alpha$  не залишається степенів вільності для перевірки нуль-гіпотези про адекватність. У такому разі можна застосувати непряму перевірку адекватності, здійснивши низку експериментів у центрі плану. Розбіжність між середнім значенням вихідної величини, отриманої під час цих експериментів, і вільним членом лінійного рівняння може допомогти створити уявлення про адекватність моделі, а саме: якщо це розходження незначуще, то можна припустити, що модель адекватна. Якщо перевірка адекватності дала негативний результат, тобто модель недостатньо точно описує процес, необхідно або застосувати рівняння зв'язку вищого порядку, оскільки зрозуміло, що експеримент проводився в області, нижчій щодо експериментальної; або, якщо це можливо, провести експеримент із меншим інтервалом варіювання  $\Delta X_i$ .

Зменшення інтервалу варіювання може спричинити:

- збільшення відношення перешкод щодо корисного сигналу, що обумовлює необхідність збільшення кількості паралельних дослідів для виокремлення сигналу на фоні шуму;

- зменшення абсолютного значення коефіцієнтів  $b_i$ , величини яких обумовлюються інтервалами варіювання; при надмірному зменшенні  $X_i$  коефіцієнти можуть стати статистично незначущими.

Якщо отримана модель адекватна, то можливі такі ситуації:

а) усі лінійні коефіцієнти значущі – дослідник може використовувати отриману модель для керування технологічним процесом і його оптимізацією шляхом руху в напрямку екстремуму;

б) один із коефіцієнтів різко виділяється за абсолютною величиною; у такому разі рух за градієнтом функції перетвориться на звичайний, однофакторний експеримент, отже потрібно повторити експеримент, зменшивши інтервал варіювання цього фактора або збільшивши інтервали для інших факторів;

в) деякі з лінійних коефіцієнтів є незначущими – дослідник може їх відкинути, якщо він упевнений, що відповідні фактори дійсно не впливають на вихідний параметр. Наприклад, якщо незначущим виявився ефект, включений у дослідження з обережності, і який за попередніми відомостями не має істотно впливати на функцію відгуку. Якщо ж дослідник у цьому не впевнений, то необхідно провести нову серію дослідів, збільшивши інтервали варіювання у відповідних факторів. Причиною подібної ситуації може бути й те, що експеримент проводився в області, де лінійне наближення є невдалою моделлю поверхні відгуку, а отже потрібно визначати математичну модель більш високого порядку [15].

### *3.3.1.2 Дробовий факторний експеримент*

Якщо досліджуваних факторів багато, використання повного факторного експерименту стає недостатньо ефективним, оскільки кількість дослідів зі збільшення значення  $k$  зростає за показниковою функцією. Щоправда, при цьому зменшується кількість помилок під час визначення коефіцієнтів полінома, оскільки досліди використовуються для оцінювання кожного з коефіцієнтів. Однак часто, особливо на початковій стадії дослідження, виникає потреба отримати деякі, можливо і неточні відомості щодо процесу за умови мінімальних експериментальних витрат.

Кількість дослідів можна скоротити, застосувавши під час планування дробові репліки повного факторного експерименту або дробовий факторний експеримент. У такому разі вдасться зберегти переваги ортогонального планування.

Припустимо, необхідно отримати наближений математичний опис при трьох технологічних факторах, що впливають на вихідний параметр.

Виявляється, що в цьому разі можна обмежитися чотирма дослідями, якщо в плані для повного факторного експерименту  $2^2$  добуток  $x_1x_2$  замінити третьою змінною –  $x_3$ ; експеримент проводитиметься відповідно до стовпця



$x_1x_2$  повного факторного експерименту (табл. 3.5). Такий скорочений план-половина повного факторного експерименту називається напіврепликою повного факторного експерименту  $2^3$ . Умовне позначення плану дробового факторного експерименту –  $2^{h-p}$ , де  $p$  – кількість взаємодій, прирівнюються до незалежних змінних. Таке планування дає змогу оцінити вільний член  $b_0$  і коефіцієнти при лінійних членах  $b_1$ ,  $b_2$  і  $b_3$  [31].

Таблиця 3.5 – Матриця планування дробового факторного експерименту  $2^{3-1}$

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$
1	+	–	–	+	$y_1$
2	+	+	–	–	$y_2$
3	+	–	+	–	$y_3$
4	+	+	+	+	$y_4$

Однак скласти таку матрицю планування можна тільки в тому разі, якщо передбачити, що відсутній або незначний вплив на вихідний параметр ефекту взаємодії і, відповідно, коефіцієнти регресії  $b_{ij}$  при парних добутках дорівнюють нулю. Якщо ця умова не виконується, то здобуті коефіцієнти будуть оцінювати спільні ефекти:

$$b'_1 = b_1 + b_{23}; \quad b'_2 = b_2 + b_{13}; \quad b'_3 = b_3 + b_{12}. \quad (3.11)$$

Ці ефекти не можна оцінювати окремо під час планування чотирьох дослідів, оскільки не виокремлено стовпців для лінійних членів і парних добутків. Якщо після проведення перших чотирьох дослідів у дослідника виникнуть сумніви щодо того, що  $b_{ij} = 0$ , то він може здійснити ще чотири дослідів, дорівнявши  $x_3 = -x_1x_2$  (табл. 3.6). Використовуючи цей план, можна визначити спільні ефекти:

$$b''_1 = b_1 + b_{23}; \quad b''_2 = b_2 + b_{13}; \quad b''_3 = b_3 + b_{12}. \quad (3.12)$$

Таблиця 3.6 – Матриця планування дробового факторного експерименту  $2^{3-1}$

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$y$
1	+	–	–	–	$y_1$
2	+	+	–	+	$y_2$
3	+	–	+	+	$y_3$
4	+	+	+	–	$y_4$

У такому разі елементи стовпця  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_3$  відповідно дорівнюють елементам стовпців  $x_1x_3$ ,  $x_2x_3$ ,  $x_1x_2$  із протилежним знаком.

Після проведення восьми дослідів відповідно до наведеного плану, отримаємо окремі оцінки:

$$\left. \begin{aligned} b_1 &= \frac{b'_1 + b''_1}{2}; & b_2 &= \frac{b'_2 + b''_2}{2}; & b_3 &= \frac{b'_3 + b''_3}{2} \\ b_{23} &= \frac{b'_1 - b''_1}{2}; & b_{13} &= \frac{b'_2 - b''_2}{2}; & b_{12} &= \frac{b'_3 - b''_3}{2} \end{aligned} \right\}. \quad (3.13)$$

Потрібно зазначити, що об'єднання двох поданих напівреплік дає повний факторний експеримент  $2^3$ , тому відокремлювальні оцінки  $b_i$  і  $b_{ij}$  можна отримати тільки шляхом проведення повного факторного експерименту. Таким чином, зменшення кількості дослідів обумовлює отримання змішаних оцінок коефіцієнтів.

Матриця планування дробового факторного експерименту при фіксованих  $k$  і  $p$  може мати різну систему змішування, і природно, що дослідник прагне досягти максимальної кількості лінійних ефектів, які б не змішувалися з парними взаємодіями. Отже, дробова репліка повинна мати розрізнявальну здатність, тобто окремо оцінювати кожен коефіцієнт. Для характеристики розрізнявальної здатності введено поняття «генерувальне співвідношення» і «визначальний контраст».

Як уже зазначалося, дробовий факторний експеримент  $2^{2-1}$  може бути поданий за допомогою двох різних напівреплік, кожна з яких характеризується одним із таких генерувальних співвідношень:

$$x_3 = x_1x_2; \quad x_3 = -x_1x_2.$$

Отримаємо вираз, помноживши ліву й праву частини наведених генерувальних співвідношень на  $x_3$ . До того ж визначимо елементи першого стовпця матриці планування, що завжди дорівнює одиниці:

$$x_3^2 = 1 = x_1x_2x_3; \quad x_3^2 = 1 = -x_1x_2x_3.$$

Ці значення дають змогу визначити всю систему спільних оцінок, не використовуючи матрицю планування. Для цього потрібно послідовно помножити незалежні змінні виразів:

$$\begin{aligned} x_1 &= x_2x_3; & x_1 &= -x_2x_3; \\ x_2 &= x_1x_3; & x_2 &= -x_1x_3; \\ x_3 &= x_1x_2; & x_3 &= -x_1x_2. \end{aligned}$$

Для того щоб розрізнявальна здатність була високою, необхідно побудувати план дробового факторного експерименту таким чином, щоб лінійні ефекти були поєднані або із взаємодіями найвищого порядку (вони

зазвичай дорівнюють нулю) або з тими взаємодіями, щодо яких заздалегідь відомо, що вони не впливають на процес. Розрізнявальну здатність визначають за допомогою генерувальних співвідношень: що більше символів належить до генерувального співвідношення, то вищою є розрізнявальна здатність.

Наприклад, в експерименті, де  $k = 4$ , як генерувальні співвідношення можуть бути використані такі:  $x_4 = x_1x_2x_3$  і  $x_4 = x_1x_2$ .

На підставі цих співвідношень отримаємо системи спільних оцінок:

$$\begin{array}{ll} 1 = x_1x_2x_3x_4; & 1 = x_1x_2x_4; \\ x_1 = x_2x_3x_4; & x_1 = x_2x_4; \\ x_2 = x_1x_3x_4; & x_2 = x_1x_4; \\ x_3 = x_1x_2x_4; & x_3 = x_1x_2x_3x_4; \\ x_4 = x_1x_2; & x_4 = x_1x_2; \\ x_1x_2 = x_3x_4x_1; & x_1x_3 = x_2x_3x_4; \\ x_1x_3 = x_2x_4; & x_2x_3 = x_1x_3x_4; \\ x_1x_4 = x_2x_3; & x_3x_4 = x_1x_2x_3. \end{array}$$

Таким чином, якщо експериментатора цікавлять оцінки для лінійних ефектів, то необхідно вибрати потрібне генерувальне співвідношення.

Під час дослідження багатofакторних технологічних процесів застосовують репліки й більшого степеня дробовості (1/4; 1/8 тощо). Зі збільшенням кількості незалежних змінних зростає розрізнявальна здатність дробових реплік.

Дослідники Бакс і Вільсон запропонували поєднати факторний експеримент для локального опису поверхні відгуку й кроковий рух до екстремуму в напрямі градієнта. Така побудова експерименту й визначається ефективність методу крутого сходження для оптимізації технологічних процесів [14].

### 3.3.1.3 Опис майже стаціонарної області

Кроковий рух до екстремуму відбувається доти, допоки дослідник не досягне області, близької до екстремуму, чи майже стаціонарної області, яка не може бути описана лінійним наближенням. У цьому разі значущими є квадратичні ефекти. Наближення майже стаціонарної області можна встановити, провівши низку експериментів у центрі плану й визначивши значення вихідного параметра  $y_0$ .

Значення  $b_0$ , що обчислюється для лінійного рівняння, під час проведення факторного експерименту (повний або дробовий факторні

експерименти) у майже стаціонарній області становить спільну оцінку для вільного члена й суми квадратичних членів, тому різниця відгуку ( $b_0 - \bar{y}_0$ ) становить кривизну поверхні відгуку.

Майже стаціонарну область з достатньою точністю можна описати за допомогою поліному другого порядку:

$$y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum_{i \neq j} b_{ij} x_i x_j + \sum_{i=1}^k b_{ii} x_i^2. \quad (3.14)$$

За теорією інтерполяції відомо, що для визначення відокремлювальних оцінок кількість рівнів кожної незалежної змінної має бути на одиницю більшою за ступінь інтерполяційного полінома. Інакше кажучи, для обчислення полінома другого порядку потрібно як мінімум три рівні.

Застосовувати повний факторний експеримент типу  $3^k$  нераціонально, оскільки таке планування характеризується різким збільшенням операцій експерименту. Скоротити кількість дослідів можна, використавши так звані центральні композиційні плани, базою для яких є лінійні ортогональні плани. Перевагою цих планів є така умова: якщо гіпотеза про лінійність не підтвердиться, немає необхідності проводити всі експерименти заново, щоб отримати модель вищого порядку; достатньо додати декілька спеціально спланованих експериментальних точок і щоб отримати план другого порядку. Побудову центральних композиційних планів можна пояснити на прикладі трьох незалежних змінних.

Припустимо, що для визначення лінійної моделі дослідник провів повний факторний експеримент  $2^3$ , експериментальні точки якого розташовуються у вершинах куба (рис. 3.3).

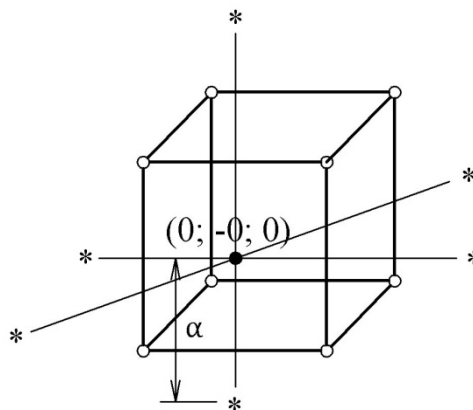


Рисунок 3.3 – Розташування експериментальних точок

Якщо отримана модель недостатньо описує процес, дослідник проводить експерименти в центрі плану, щоб за різницею ( $b_0 - y_0$ ) оцінити

кривизну поверхні відгуку. У разі підтвердження неадекватності лінійної моделі додаються так звані зіркові точки із координатами  $(0, \alpha, \dots, 0)$ , що лежать на сфері діаметром  $2\alpha$  (рис. 2.3). Загальна кількість дослідів центрального композиційного плану при  $k$  факторах

$$N = 2^k + 2k + n_0, \quad (3.15)$$

де  $n_0$  – кількість дослідів у центрі плану;

$2k$  – зіркові точки.

У теорії планування другого порядку розрізняють кілька типів композиційних планів. Поширення набули ортогональні й рототабельні центральні композиційні плани.

Бакс і Вільсон запропонували обирати плече  $\alpha$  і кількість центральних точок  $n_0$  таким чином, щоб план другого порядку залишався ортогональним. Центральний композиційний ортогональний план при  $k = 3$  містить усього 15 дослідів (табл. 3.7), тоді як при повному факторному експерименті типу  $3^3$  необхідно було провести 27 дослідів [31].

Таблиця 3.7 – Матриця для різних коефіцієнтів центрального композиційного ортогонального плану

Номер дослідів	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$y$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$y_1$
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	$y_2$
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	$y_3$
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	$y_4$
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	$y_5$
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	$y_6$
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_7$
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_8$
9	+1	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	0	$y_9$
10	+1	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	0	$y_{10}$
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	$y_{11}$
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	$y_{12}$
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	$y_{13}$
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	$y_{14}$
15	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{15}$

Унаслідок ортогональності планування всі коефіцієнти визначаються незалежно один від одного:

$$b_i = \frac{\sum_{g=1}^N x_{gi} \bar{y}_g}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2}. \quad (3.16)$$

Однак незалежність оцінювання коефіцієнтів під час планування в екстремальній області не має такого великого значення, як під час лінійного планування на початковій стадії дослідження, коли в експеримент включається велика кількість факторів, частину з яких потім доводиться відкидати (унаслідок незначущості впливу на процес).

Потрібно зауважити, що на відміну від лінійного наближення, під час ортогонального планування другого порядку оцінки коефіцієнтів полінома різняться неоднаковими дисперсіями, оскільки знаменник у формулі для оцінювання дисперсій коефіцієнтів загалом має такий вигляд:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{\sum_{g=1}^N x_{gi}^2}. \quad (3.17)$$

У разі використання центрального композиційного ортогонального плану дисперсії визначення коефіцієнтів змінюються при повороті координат, тобто точність прогнозування вихідної величини в різних напрямках факторного простору неоднакова. Доцільнішим є таке планування, за якого кількість інформації є однаковою для всіх еквідистантних точок, тобто забезпечує однакову точність визначення  $y$  за всіма напрямками на однаковій відстані ( $R$ ) від центру планування. Таке планування називають рототабельним.

Отже при рототабельному плануванні виконується така умова:

$$\sigma^2\{y\} = \text{const при } R = \text{const}. \quad (3.18)$$

До того ж центральні композиційні рототабельні плани дають змогу мінімізувати помилки щодо визначення  $y$ , обумовлені неадекватністю відображення результатів дослідження поліномом другого порядку.

Для того щоб композиційний план був рототабельним, величину зіркового плеча  $\alpha$  вибирають з умови, що  $\alpha = 2^{k/4}$ . Крім того, у разі використання центрального композиційного ортогонального плану кількість центральних точок збільшується і визначається залежно від кількості факторів.

Матриця центрального композиційного рототабельного плану, зразок якої для  $k = 3$  наведений у таблиці 3.8, не є ортогональною.

Таблиця 3.8 – Матриця центрального композиційного рототабельного планування

Номер досліду	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_1^2$	$x_2^2$	$x_3^2$	$y$
1	+1	-1	-1	-1	+1	+1	+1	$y_1$
2	+1	+1	-1	-1	+1	+1	+1	$y_2$
3	+1	-1	+1	-1	+1	+1	+1	$y_3$
4	+1	+1	+1	-1	+1	+1	+1	$y_4$
5	+1	-1	-1	+1	+1	+1	+1	$y_5$
6	+1	+1	-1	+1	+1	+1	+1	$y_6$
7	+1	-1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_7$
8	+1	+1	+1	+1	+1	+1	+1	$y_8$
9	+1	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	0	$y_9$
10	+1	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	0	$y_{10}$
11	+1	0	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	0	$y_{11}$
12	+1	0	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	0	$y_{12}$
13	+1	0	0	$+\alpha$	0	0	$+\alpha$	$y_{13}$
14	+1	0	0	$-\alpha$	0	0	$-\alpha$	$y_{14}$
15	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{15}$
16	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{16}$
17	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{17}$
18	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{18}$
19	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{19}$
20	+1	0	0	0	0	0	0	$y_{20}$

Формули для розрахування коефіцієнтів полінома та їхніх дисперсій при рототабельному плануванні набагато складніші порівняно з ортогональним:

$$b_0 = \frac{A}{N} \left[ 2\lambda(k+2)(0y) + 2\lambda c \sum_{i=1}^k (ijy) \right]; \quad (3.19)$$

$$b_i = \frac{c}{N} (iy); \quad (3.20)$$

$$b_{ij} = \frac{c^2}{N\lambda} (ijy); \quad (3.21)$$

$$b_{ij} = \frac{A}{N} \left\{ c^2 [(k+2)\lambda - k](ijy) + c^2 (1 - \lambda) \sum_{i=1}^k (ijy) - 2\lambda c(0y) \right\}; \quad (3.22)$$

$$S^2(b_0) = \frac{2A\lambda^2(k+2)S^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (3.23)$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{cS^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (3.24)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{A[(k+1)\lambda - (k+1)]c^2 S^2\{y\}}{N \cdot m}; \quad (3.25)$$

$$S^2\{b_{ij}\} = \frac{cS^2\{y\}}{\lambda N \cdot m}; \quad (3.26)$$

$$c = \frac{N}{\sum_{l=1}^N x_{ij}^2}; \quad (3.27)$$

$$A = \frac{1}{2\lambda[(k+2)\lambda - k]}; \quad (3.28)$$

$$\lambda = \frac{kN}{(k+2)n_1}; \quad (3.29)$$

$$n_1 = N - n_0; \quad (3.30)$$

$$(0y) = \sum_{l=1}^N x_{0l} y_l; \quad (3.31)$$

$$(ijy) = \sum_{l=1}^N x_{il}^2 y_l; \quad (3.32)$$

$$(iy) = \sum_{i=1}^N x_{il} y_l; \quad (3.33)$$

$$(ijl) = \sum_{i=1}^N x_{il} x_{jl} y_l. \quad (3.34)$$

Як і при отриманні лінійної моделі, оброблення результатів під час реалізації центрального композиційного плану передбачає статистичну перевірку гіпотез (відтворюваності результатів експериментів, значущості коефіцієнтів і адекватності моделі) [31].



Отримана адекватна модель другого порядку може бути використана для визначення оптимальних технологічних режимів. У цьому разі ретельно аналізують отриману модель і за допомогою методів аналітичної геометрії подають її у канонічній формі. Під час перетворення, переносячи початок координат у точку  $S$ , спочатку звільняються від лінійних членів, а потім за допомогою повороту осей координат позбуваються ефектів взаємодії. Отже, для двох незалежних змінних рівняння в канонічній формі матиме такий вигляд:

$$Y - Y_S = B_{11}^2 X_1^2 + B_{22}^2 X_2^2. \quad (3.35)$$

Поверхня відгуку залежно від виду канонічного рівняння може становити один із трьох типів:

а) якщо коефіцієнти  $B_{11}$  і  $B_{22}$  мають однакові знаки, то поверхня відгуку є еліптичним параболоїдом, а центр фігури  $S$  – шуканим екстремумом (рис. 3.4).

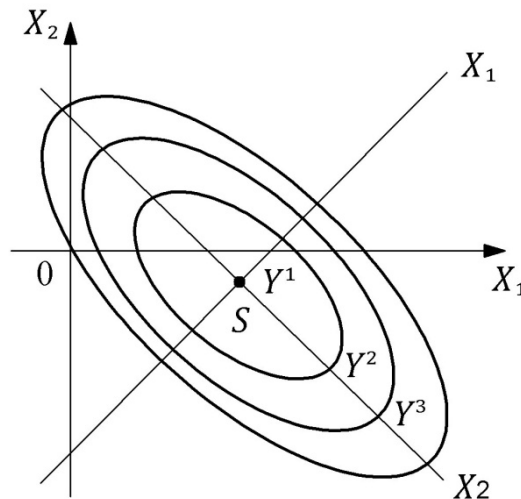


Рисунок 3.4 – Поверхня відгуку у вигляді еластичного параболоїду

У цьому разі для отримання оптимальної точки дослідник може скористатися й не приведеним рівнянням другого порядку. Для цього порівнюються нульові значення компонент-градієнта

$$\frac{\partial y}{\partial x} = b_i + 2b_{ij}x_i + b_{ij}x_j = 0 \quad (3.36)$$

і розв'язується система рівнянь;

б) якщо  $B_{11}$  і  $B_{22}$  мають різні знаки, то поверхня відгуку становить типи «мінімакс» або «сідло» (рис. 3.5). Щоб визначити оптимальні технологічні режими, дослідник рухатиметься найзручнішим для нього каналом «сідла»;

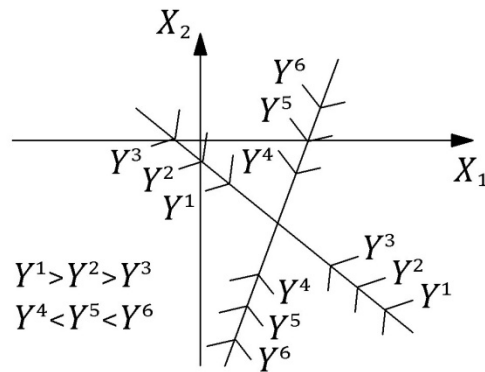


Рисунок 3.5 – Поверхня відгуку типу «мінімакс» або «сідло»

в) якщо один із коефіцієнтів  $B_i$  дорівнює нулю, то поверхня відгуку має вигляд наростального узвишшя (рис. 3.6). У цьому разі, щоб знайти оптимум, дослідник рухатиметься гребенем, доки це можливо із огляду на технологічний процес.

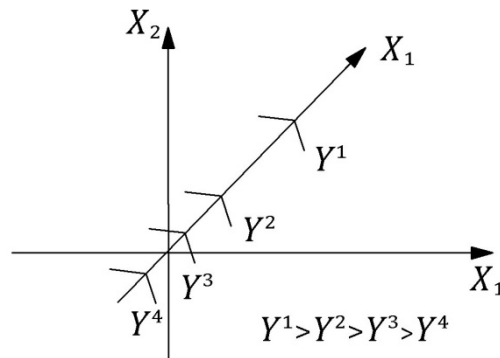


Рисунок 3.6 – Поверхня відгуку у вигляді наростального узвишшя

Розглянуті методи отримання математичних моделей за допомогою факторного експерименту передбачають, що до експерименту включено всі фактори, які впливають на вихідний параметр. Довільне змінювання невиключеного фактора призводить до різкого збільшення помилки експерименту. Таким чином, пропуск одного чи, щобільше, декількох факторів, які впливають на вихідний параметр, практично зводить до нуля результати всіх дослідів. Щоб уникнути цього на перших етапах дослідження необхідно використовувати якомога більше факторів. До того ж що менше апріорних відомостей про технологічний процес, то більше факторів включається в план експерименту. Потім більшість із них відкидають як такі, що не впливають чи незначно впливають на процес. Однак, щоб не пропустити істотних факторів, на початку дослідження експериментатор повинен врахувати багато факторів і їхню взаємодію. Викладені вище методи передбачають ретельне вивчення поверхні відгуку, а реалізувати їх за великої кількості факторів досить складно.

Окрім того, на першому етапі дослідження і не потрібно давати точну кількісну оцінку впливу вхідних параметрів на вихідну величину, потрібно тільки точно оцінити їхній вплив.

Розглянемо методи, які дають змогу із мінімальними втратами з великої кількості факторів виокремити провідні, які найістотніше впливають на хід процесу [30, 31].

#### 3.3.1.4 Метод рангової кореляції

Оскільки навіть незначне зменшення кількості факторів призводить до значного зменшення кількості дослідів, виникає необхідність використання апріорної інформації для попереднього відбору неістотних факторів. Метод рангової кореляції дає змогу виокремити неістотні технологічні фактори, використовуючи твердження фахівців, які працюють у цій галузі. Процедура визначення ступеня впливу технологічних факторів на вихідний параметр за цим методом передбачає:

а) якомога ширшому колу фахівців пропонується розташувати технологічні фактори в порядку спадання ступеня їхнього впливу на обраний вихідний параметр; подається перелік факторів, але кожен із опитуваних може включити додаткові фактори, якщо, на його думку, список є неповним;

б) результати опитування подаються у вигляді таблиці – матриці рангів (табл. 3.9), де під кожним фактором зазначається його місце в анкетах фахівців. Іноді матриця рангів будується з урахуванням кваліфікації опитуваного – у цьому разі покази фахівців збільшуються на коефіцієнт, який присвоюється відповідно до кваліфікації.

Таблиця 3.9 – Матриця рангів

Фахівці	Фактори				
	$x_1$	$x_2$	$x_3$	...	$x_n$
1	$a_{11}$	$a_{12}$	$a_{13}$		$a_{1n}$
2	$a_{21}$	$a_{22}$	$a_{23}$		$a_{2n}$
3	$a_{31}$	$a_{32}$	$a_{33}$		$a_{3n}$
...	...	...	...		...
...	...	...	...		...
...	...	...	...		...
$m$	$a_{m1}$	$a_{m2}$	$a_{m3}$		$a_{mn}$
Сума рангів					
Розбіжність між сумою рангів і середнім рангом					
Квадрати розбіжностей					

Що меншою є сума рангів фактора, то вище місце він посідає в ранжуванні, то більшим є вплив цього фактору на вихідний параметр;

в) останні два рядки матриці використовують для обчислення коефіцієнта конкордації:

$$W = \frac{12H}{m^2(n^3 - n)}, \quad (3.37)$$

де  $H$  – сума квадратів відхилень.

За допомогою коефіцієнта конкордації і статистичних методів можна визначити, випадковою чи не випадковою є погодженість думок фахівців: що вищий коефіцієнт конкордації, то вищий ступінь узгодженості думок фахівців:  $W = 1$  свідчить, що фахівці однаково розмістили фактори;

г) за допомогою отриманої матриці рангів будують діаграму рангів (рис. 3.7).

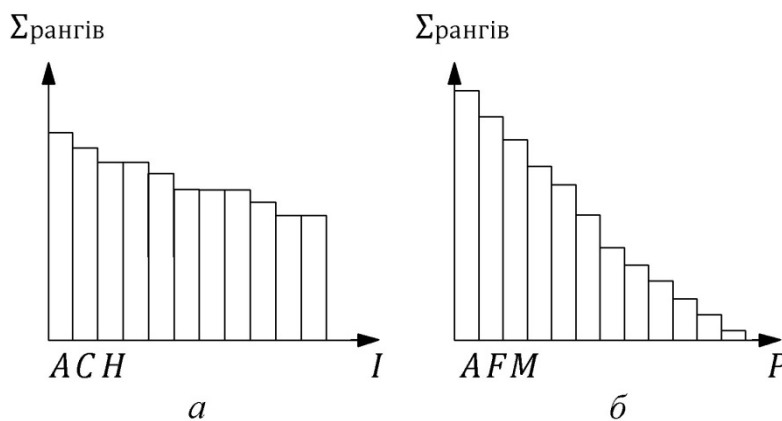


Рисунок 3.7 – Діаграма рангів: а – за рівномірного розподілу рангів;  
б – за нерівномірного розподілу рангів

Якщо розподіл на діаграмі рангів рівномірний, то всі фактори включаються в експеримент. Можна зробити висновок, що опитування в цьому випадку не дало бажаного результату.

Якщо розподіл нерівномірний, однак змінювання суми рангів є незначним, то це означає, що хоч фактори і різняться, але це майже непомітно, тому в цьому разі всі фактори потрібно включити до експерименту (рис. 3.7, а).

Найоптимальнішим є випадок швидкого експонентного зменшення ступеня впливу факторів. У цьому разі можливо за допомогою опитування відсіяти низку факторів (рис. 3.7, б).

### 3.3.1.5 Насичені плани

Застосування насичених планів для відсіювання неістотних факторів базується на тому, що на вихідний параметр впливають лінійні ефекти і не впливає взаємодія факторів. У цьому разі використовують дробові репліки повного факторного експерименту, намагаючись досягти того, щоб усі  $(N - 1)$  степенів вільності були використані для оцінювання коефіцієнтів при відповідних змінних, чи, інакше кажучи, замінюючи всі або майже всі взаємодії лінійними ефектами. Так, наприклад, якщо передбачається, що на вихідний параметр можуть вплинути п'ятнадцять факторів, то для відсіювання неістотних або тих, що впливають незначно, можна використати дробовий факторний експеримент  $2^{15-11}$  з кількістю дослідів  $N = 16$  (табл. 3.10).

Таблиця 3.10 – Матриця насиченого планування

Номер дослідів	$x_0$	$x_1$	$x_2$	$x_3$	$x_4$	$x_5$	$x_6$	$x_7$	$x_8$	$x_9$	$x_{10}$	$x_{11}$	$x_{12}$	$x_{13}$	$x_{14}$	$x_{15}$	$y_g$
1	+	–	–	–	–	+	–	–	–	–	+	+	+	+	+	+	$y_1$
2	+	+	–	–	–	–	+	+	+	–	–	–	–	+	+	+	$y_2$
3	+	–	+	–	–	–	+	+	+	+	–	+	+	–	–	+	$y_3$
4	+	+	+	–	–	+	–	–	+	+	+	–	+	–	+	–	$y_4$
5	+	–	–	+	–	–	+	–	+	+	+	–	+	–	+	–	$y_5$
6	+	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	+	–	–	+	–	$y_6$
7	+	–	+	+	–	+	–	+	+	–	–	–	+	+	–	–	$y_7$
8	+	+	+	+	–	–	+	–	–	–	+	+	–	+	–	–	$y_8$
9	+	–	–	–	+	–	–	+	+	+	+	+	–	+	–	–	$y_9$
10	+	+	–	–	+	+	+	–	–	+	–	–	+	+	–	–	$y_{10}$
11	+	–	+	–	+	+	+	–	+	–	–	+	–	–	+	–	$y_{11}$
12	+	+	+	–	+	–	–	+	–	–	+	–	+	–	+	–	$y_{12}$
13	+	–	–	+	+	+	+	+	–	–	+	–	–	–	–	+	$y_{13}$
14	+	+	–	+	+	–	–	–	+	–	–	+	+	–	–	+	$y_{14}$
15	+	–	+	+	+	–	–	–	–	+	–	–	–	+	+	+	$y_{15}$
16	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	+	$y_{16}$

Тоді

$$\begin{aligned}
 x_5 &= x_1 x_2 x_3 x_4; & x_6 &= x_1 x_2 x_3; & x_7 &= x_1 x_3 x_4; \\
 x_8 &= x_1 x_3 x_4; & x_9 &= x_2 x_3 x_4; & x_{10} &= x_1 x_2; \\
 x_{11} &= x_1 x_3; & x_{12} &= x_1 x_4; & x_{13} &= x_2 x_3; \\
 x_{14} &= x_2 x_4; & x_{15} &= x_3 x_4.
 \end{aligned}$$

Після закінчення експериментів обчислюються коефіцієнти і оцінюється їхня значущість. Фактори, для яких коефіцієнти виявилися незначущими, відкидаються. Однак іноді допускається відсівання неістотних факторів за порядком отриманих коефіцієнтів.

Можна помітити, що при  $k = 9, 17, 33$  тощо, використання дробових реплік повного факторного експерименту спричиняє значне збільшення кількості дослідів, відповідно  $y = 16, 32, 64$  і т. д. Для того, щоб збільшити насиченість планів, розроблено ортогональні плани, де  $N = 12, 20, 24, 36$  тощо. Метод насичених планів для дослідження технологічних процесів у виробках газового обладнання та в трубопровідних системах обмежено, оскільки вплив взаємодії технологічних факторів на вихідний параметр є дуже значним [30, 31].

#### *3.3.1.6 Метод надто насичених планів*

Метод надто насичених планів уможливорює відсіювання як лінійних ефектів, так і їхню взаємодію, однак застосування цього методу передбачає, що кількість значущих ефектів значно менше за загальну кількість підозрюваних ефектів. За назвою методу можна встановити, що для визначення істотних факторів у цьому разі використовують наднасичені плани, тобто плани, де кількість дослідів менша, ніж ефектів, включених в експеримент, де  $k > N - 1$ . Пропонується обирати випадкові вибірки в повному факторному експерименті. Отже, спільні оцінки виявляються змішаними деяким випадковим чином, тому цей методу ще називають методом випадкового балансу. Оскільки застосування методу базується на умові, що істотних ефектів небагато, то можна припустити, що таким чином їх можна виявити, а ефекти, що залишилися, становлять шумове поле. Зрозуміло, що відокремлені фактори будуть оцінюватися в цьому разі з більшою помилкою, ніж при повному чи дробовому факторному експерименті, оскільки залишкова дисперсія визначається не тільки дисперсією, що характеризує помилку дослідів, але й дисперсією шумового поля. І що більшою є остання, то з більшою помилкою виконується кількісна оцінка виокремлення істотних факторів. Однак на цьому етапі дослідження не потрібно кількісно оцінювати фактори. Водночас метод випадкового балансу дає змогу вирішити головне завдання експериментів, які відсіюють: визначити домінантні ефекти із великої кількості ефектів, включених у дослідження, як потенційно здатні впливати на вихідний параметр.

Щоб побудувати матрицю планування, усі фактори розбивають на групи. Для отримання відокремлювальних оцінок розбивати фактори на

групи доцільніше так, щоб у кожену групу входили фактори, які характеризують певні моменти технологічного процесу. Для кожної групи будується матриця планування, що співвідноситься із дробовим або повним факторним експериментами. До того ж краще складати групи з трьох-п'яти факторів, оскільки в цьому разі щодо кожної можна застосувати повний факторний експеримент, у якому по чергові використовуються всі можливі комбінації рівнів групи. План експерименту зазвичай складається шляхом випадкового змішування рядків групових планів, на підставі таблиці випадкових чисел.

Отриманий експериментальний матеріал обробляється в кілька етапів за допомогою діаграм розсіювання результатів спостережень за окремими факторами (рис. 3.8). На першому етапі діаграма розсіювання будується для кожного фактора. Ліворуч розміщуються всі значення вихідного параметра дослідів, де цей фактор перебуває на одному рівні (наприклад, на нижньому), праворуч – значення фактора на іншому рівні. Таким чином, навпроти кожного фактора розміщується  $N$  точок відповідно до  $N$  результатів експериментів. Ці точки розподілені на дві групи. Одна співвідноситься з дослідом, де відповідний фактор був на нижньому рівні. У процесі аналізу діаграми розсіювання для певного фактора не потрібно брати до уваги вплив інших факторів, тобто кожен фактор розглянути окремо (хоча матриця планування в цьому разі не ортогональна). К наслідок, отримаємо дві групи дослідів, де аналізований фактор зафіксований на певному рівні, а всі інші фактори змінюються випадковим чином. Якщо фактор впливає на вихідний параметр ( $y$ ), то в разі переходу його з одного рівня на інший зміщується центр розподілу  $y$  на величину

$$\beta_i = (M_y)_1 - (M_y)_2, \quad (3.38)$$

де  $(M_y)_1$  – центр розподілу  $y$  в разі перебування фактора  $X$  на першому рівні;

$(M_y)_2$  – центр розподілу  $y$  в разі перебування фактора  $X$  на другому рівні.

Величину  $\beta_i$ , яку називають внеском цього фактора, найпростіше оцінити за допомогою різниці медіан для нижнього й верхнього рівнів. До того ж якщо певна кількість точок розміщується на рівні  $2m$ , то медіана лежить між  $m$ -ю і  $(m+1)$ -ю точками, якщо ж на рівні  $(2m+1)$ , то медіаною є  $(m+1)$ -точка. Після цього істотні технологічні фактори можна виокремити, візуально порівнявши внески факторів.

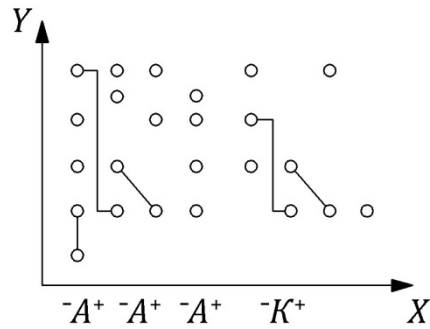


Рисунок 3.8 – Діаграма розсіювання результатів спостережень за окремими факторами

Фактори, визнані істотними, тобто такими, що мають найбільші внески, можуть бути оцінені кількісно. Зазвичай для цього складається таблиця з певною кількістю входів, що співвідносяться з відповідною кількістю відокремлених факторів. Припустимо, що на цьому етапі найбільші внески мали три фактори  $A$ ,  $C$ ,  $G$ , тоді таблиця матиме такий вигляд, наведений в таблиці 3.11.

Таблиця 3.11 – Допоміжна таблиця для кількісної оцінки факторів

	$C+$		$C-$	
	$G+$	$G-$	$G+$	$G-$
$A+$	...	...	...	...
	$\frac{y_j}{\bar{y}_5}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_2}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_3}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_4}$
$A-$	...	...	...	...
	$\frac{\dots}{\bar{y}_2}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_6}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_7}$	$\frac{\dots}{\bar{y}_8}$

У кожену клітину заносяться результати експериментів відповідно до рівнів, на яких розташовувалися відокремлені фактори. У такому разі деякі клітини виявляються незаповненими, отже потрібно скоротити кількість входів таблиці, тобто зменшити кількість відокремлюваних на цьому етапі факторів.

Коефіцієнти обчислюються за такими формулами:

$$\left. \begin{aligned} b_C &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_5 + \bar{y}_6}{4} - \frac{\bar{y}_3 + \bar{y}_4 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4} \\ b_A &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_2 + \bar{y}_3 + \bar{y}_4}{4} - \frac{\bar{y}_5 + \bar{y}_6 + \bar{y}_7 + \bar{y}_8}{4} \\ b_G &= \frac{\bar{y}_1 + \bar{y}_3 + \bar{y}_5 + \bar{y}_7}{4} - \frac{\bar{y}_2 + \bar{y}_4 + \bar{y}_6 + \bar{y}_8}{4} \end{aligned} \right\}. \quad (3.39)$$



Ці формули відрізняються від відповідних формул для обчислення коефіцієнтів при повному або дробовому факторних експериментах тим, що в кожену клітину додатково подаються усереднені значення в кожній клітині. Це є необхідною умовою, оскільки у випадково збалансованому експерименті різні комбінації рівнів можуть співвідноситися з різною кількістю дослідів.

Якщо кількісна оцінка підтвердила значущість відокремлених візуально факторів, то їх не розглядають на наступних етапах оброблення даних.

Значущість відокремлених ефектів можна перевірити за допомогою  $t$ -критерію:

$$S\{b_i\} = S\{y\} \sqrt{\sum_{j=1}^l \frac{1}{n_j}}; \quad (3.40)$$

$$S^2\{y\} = \frac{\sum_{j=1}^l S_j^2 (n_j - 1)}{\sum_{j=1}^b (n_j - 1)}; \quad (3.41)$$

$$S_j^2 = \frac{1}{n_j - 1} \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2, \quad (3.42)$$

де  $n_j$  – кількість спостережень у  $j$ -й клітині;

$S^2\{y\}$  – залишкова дисперсія;

$l$  – кількість клітин.

Як зазначалося, коефіцієнти, що характеризують вплив факторів, обчислюються з великою помилкою, яка може бути набагато більшою порівняно з помилкою експерименту. У такому разі фактори оцінюються на шумовому тлі, створеному всіма іншими факторами, і помилка обчислення коефіцієнтів є особливо значною на першому етапі оброблення експериментальних даних, коли шумове поле створюється і деякими ще не визначеними істотними факторами, тому перевірка значущості коефіцієнтів може виявитися неефективною і її не виконують. Зазвичай обмежуються порівнянням абсолютних значень коефіцієнтів, і якщо при цьому виявляється, що значення одного чи двох коефіцієнтів у декілька разів менші за інші, то відповідний фактор на цьому етапі не виокремлюють і продовжують розгляд.

Відокремивши першу групу значущих факторів, необхідно визначити, чи істотними є інші фактори та їхня взаємодія, для чого коригують

результати дослідів. Сутність цього коригування полягає в тому, що виключаються ефекти, обумовлені факторами, відокремленими на першому етапі. Отже, якщо якийсь фактор був визнаний значущим, то від результатів тих дослідів, де відповідний фактор був на верхньому рівні, віднімають  $b_i$ .

За скоригованими результатами знову будують діаграми розсіювання і для окремих факторів, і для їхніх взаємодій, потенційно здатних впливати на вихідний параметр. Однак будувати діаграми розсіювання для всіх сумнівних ефектів взаємодії занадто трудомістка справа, оскільки їх зазвичай дуже багато. Отже, спочатку будують діаграми розсіювання для лінійних ефектів, а проаналізувавши їх, будують діаграми лише тих взаємодій, вплив яких значний. Наприклад, взаємодія розбіжностей  $HI$  матиме велике значення, якщо відокремлені точки  $f$  опиняться як на рівні  $+I$ , так і на рівні  $-HI$  (рис. 3.9). У першому разі обидва фактори ( $H$  і  $I$ ) матимуть однакові знаки, а в другому – різні. Таким чином, потрібно будувати діаграми розсіювання лише стосовно взаємодії таких факторів, які мають точки, що виокремлюються як на однакових рівнях, так і на різних. Інакше кажучи, в одній частині діаграми розсіювання фактори повинні повторювати один одного, а інші – бути їхнім дзеркальним відображенням (рис. 3.9). За рисунком 3.9, окрім того, зрозуміло, що взаємодія може різнитися значним внеском, тоді як кожен окремий фактор характеризується невеликим внеском.

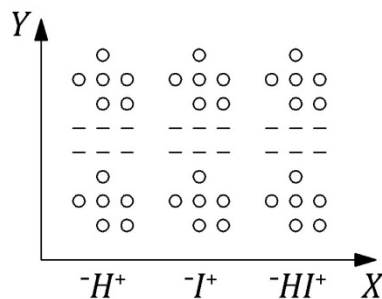


Рисунок 3.9 – Діаграма розсіювання для ефектів взаємодії

Процес визначення істотних технологічних факторів припиниться, і всі ефекти, що залишилися, будуть належати до шумового поля, якщо на черговій діаграмі розсіювання всі внески будуть становити приблизно один порядок і виявляться незначними за величиною.

Якщо експериментатор на кожному етапі дослідження може користуватися засобами обчислювальної техніки, то в такому ряді замість описаного методу оброблення даних із побудовою діаграм розсіювання можна, використовуючи матрицю незалежних змінних, виокремлювати й оцінювати одразу багато ефектів.

Фактори та їхні взаємодії, визнані значущими, виключаються, і вся процедура повторяється знову. До того ж на кожному етапі аналізу отриманих результатів менша частина ефектів належить до шумового поля, а отже, зменшується залишкова дисперсія, що характеризує помилку в оцінці відокремлених ефектів. Зі збільшенням кількості одночасно оцінюваних ефектів виникає деяка неоднозначність під час виокремлення домінантних факторів, оскільки можливі різні варіанти вибору ефектів. Критерієм вибору кращого варіанта може слугувати величина залишкової дисперсії: що вона менша, то оптимальніший варіант. Варто зазначити, що якщо під час проведення експериментів стосовно відсіювання, виникає сумнів щодо значущості якого-небудь фактора, то потрібно включити його в наступні експерименти, оскільки пропуск істотного фактора спотворить результат дослідження. Якщо фактор дійсно незначущий, він буде відкинутий на наступних етапах дослідження.

На етапі відсіювання не потрібно отримувати адекватну математичну модель, тому доцільніше обирати великі інтервали варіювання, щоб змінювання вихідної величини, спричинені переходом фактора з одного рівня на інший, були помітні на фоні шуму [30, 31].

### 3.3.2 Приклади розв'язання задач

#### Задача 1

Скласти математичну модель пресування гумових герметичних прокладінок. Відсоток браку  $k$  обумовлюється режимом пресування – тиск ( $P$ ), температура ( $T$ ) та час ( $t$ ) і методом повного факторного експерименту; перевірити його адекватність. Вихідні дані для розрахування подано в таблиці 3.12 [32].

Таблиця 3.12 – Експериментальні дані

$P$ , Па	$T$ , К	$t$ , год	$k$ , %				
			I	II	III	IV	V
$30 \cdot 10^4$	433	1,4	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$5,18 \cdot 10^{-2}$	$5,16 \cdot 10^{-2}$	$5,17 \cdot 10^{-2}$	$5,19 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^6$	433	1,4	$5,5 \cdot 10^{-2}$	$5,43 \cdot 10^{-2}$	$5,34 \cdot 10^{-2}$	$5,41 \cdot 10^{-2}$	$5,42 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^4$	433	1,4	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$5,31 \cdot 10^{-2}$	$5,32 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$5,32 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^6$	433	1,4	$5,24 \cdot 10^{-2}$	$5,26 \cdot 10^{-2}$	$5,22 \cdot 10^{-2}$	$5,28 \cdot 10^{-2}$	$5,2 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^4$	433	1,4	$4,73 \cdot 10^{-2}$	$5,74 \cdot 10^{-2}$	$5,72 \cdot 10^{-2}$	$5,71 \cdot 10^{-2}$	$5,73 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^6$	433	1,4	$5,24 \cdot 10^{-2}$	$5,25 \cdot 10^{-2}$	$5,26 \cdot 10^{-2}$	$5,28 \cdot 10^{-2}$	$5,22 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^4$	433	1,4	$5,2 \cdot 10^{-2}$	$5,36 \cdot 10^{-2}$	$5,28 \cdot 10^{-2}$	$5,3 \cdot 10^{-2}$	$5,26 \cdot 10^{-2}$
$30 \cdot 10^6$	433	1,4	$5 \cdot 10^{-2}$	$5,08 \cdot 10^{-2}$	$4,98 \cdot 10^{-2}$	$5,04 \cdot 10^{-2}$	$5,1 \cdot 10^{-2}$

### Розв'язання

Середнє значення показників параметра оптимізації щодо реалізації паралельних спостережень:

$$\bar{y}_q = \frac{\sum_{l=1}^m y_{q_l}}{m},$$

де  $y_{q_l}$  – дійсне значення показника параметра оптимізації;

$m$  – кількість паралельних спостережень у кожній точці;

$$\bar{y}_1 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,18 + 5,16 + 5,17 + 5,19 + 5,2) = 5,18 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_2 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,5 + 5,43 + 5,34 + 5,41 + 5,42) = 5,42 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_3 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,31 + 5,32 + 5,3 + 5,32 + 5,2) = 5,31 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_4 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,24 + 5,26 + 5,22 + 5,28 + 5,2) = 5,24 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_5 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (4,73 + 4,74 + 4,72 + 4,71 + 4,73) = 4,72 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_6 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,24 + 5,25 + 5,26 + 5,28 + 5,22) = 5,25 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_7 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5,2 + 5,36 + 5,28 + 5,3 + 5,26) = 5,28 \cdot 10^{-2};$$

$$\bar{y}_8 = \frac{1 \cdot 10^{-2}}{5} \cdot (5 + 5,08 + 4,98 + 5,04 + 5,1) = 5,04 \cdot 10^{-2}.$$

Дисперсія відтворюваності, якщо  $m = 5$  паралельних спостережень плану матриці планування в кожній точці обчислюється за формулою:

$$S_q^2 = \frac{\sum_{l=1}^m (\bar{y}_q - y_{q_l})^2}{m - 1};$$

$$S_1^2 = \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,2 - 5,18)^2 + (5,18 - 5,18)^2 + (5,16 - 5,18)^2 + (5,17 - 5,18)^2 + (5,19 - 5,18)^2] = 0,25 \cdot 10^{-7};$$

$$\begin{aligned}
S_2^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,5 - 5,42)^2 + (5,43 - 5,42)^2 + (5,34 - 5,42)^2 + \\
&\quad + (5,41 - 5,42)^2 + (5,42 - 5,42)^2] = 3,2 \cdot 10^{-7}; \\
S_3^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,3 - 5,31)^2 + (5,31 - 5,31)^2 + (5,32 - 5,31)^2 + \\
&\quad + (5,3 - 5,31)^2 + (5,32 - 5,31)^2] = 0,1 \cdot 10^{-7}; \\
S_4^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,24 - 5,24)^2 + (5,26 - 5,24)^2 + (5,22 - 5,24)^2 + \\
&\quad + (5,28 - 5,24)^2 + (5,2 - 5,24)^2] = 1 \cdot 10^{-7}; \\
S_5^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(4,73 - 4,72)^2 + (4,74 - 4,72)^2 + (4,72 - 4,72)^2 + \\
&\quad + (4,71 - 4,72)^2 + (4,73 - 4,72)^2] = 0,25 \cdot 10^{-7}; \\
S_6^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,25 - 5,25)^2 + (5,25 - 5,25)^2 + (5,26 - 5,25)^2 + \\
&\quad + (5,28 - 5,25)^2 + (5,22 - 5,22)^2] = 0,5 \cdot 10^{-7}; \\
S_7^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5,2 - 5,28)^2 + (5,36 - 5,28)^2 + (5,28 - 5,28)^2 + \\
&\quad + (5,3 - 5,28)^2 + (5,26 - 5,28)^2] = 3,4 \cdot 10^{-7}; \\
S_8^2 &= \frac{10^{-4}}{4} \cdot [(5 - 5,04)^2 + (5,08 - 5,04)^2 + (5,04 - 5,04)^2 + \\
&\quad + (5,1 - 5,04)^2 + (4,96 - 5,04)^2] = 2,6 \cdot 10^{-7}.
\end{aligned}$$

Перевіримо відтворюваність за критерієм Кохрена.

Однорідність можна обчислити за формулою:

$$G = \frac{S_{q\max}^2}{\sum_{q=1}^N S_q^2} < G_{\text{кр}},$$

де  $S_{q\max}^2$  – максимальне значення дисперсії в  $q$ -й точці;

$N$  – кількість незалежних дослідів,  $N = 2^k$ , де  $k$  – кількість незалежних дослідів;

$G_{\text{кр}}$  – табличне значення критерію Кохрена, що визначається за таблицею 3.13. Для заданого рівня значущості  $q = 5\%$  та для ступенів вільності  $\nu_{1,6\max} = m - 1$ ;  $\nu_{2,6\max} = N$ .

Таблиця 3.13 – Критерій Кохрена

$\nu_{2,6\max} = N$	$\nu_{1,6\max} = m - 1$		
	2	4	6
4	0,7679	0,6841	0,5365
5	0,6838	0,5981	0,4564
8	0,5157	0,3910	0,3185

Таким чином,

$$G = \frac{3,4 \cdot 10^{-7}}{11,3 \cdot 10^{-7}} = 0,3008 < G_{\text{кр}} = 0,3910.$$

Отже, експерименти відтворюваності та їхні результати можна використати для оцінювання коефіцієнтів регресії.

Дисперсію параметра оптимізації обчислюємо за формулою:

$$S^2 = S^2\{y\} = \frac{\sum_{q=1}^N S_q^2}{8};$$

$$S^2 = \frac{10^{-7}}{8} \cdot (0,25 + 3,2 + 0,1 + 1,0 + 0,25 + 0,5 + 3,4 + 2,6) = 1,4125 \cdot 10^{-7}.$$

Значення коефіцієнтів у рівнянні регресії визначаємо за формулою:

$$b_i = \frac{\sum_{q=1}^N x_{iq} \cdot \bar{y}_q}{N},$$

де  $x_{iq}$  – кодоване значення  $i$ -го фактора;

$$b_1 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (5,18 + 5,42 + 5,31 + 5,24 + 4,72 + 5,25 + 5,28 + 5,04) = 5,18 \cdot 10^{-2};$$

$$b_2 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (-5,18 - 5,42 + 5,31 + 5,24 - 4,72 - 5,25 + 5,28 + 5,04) = 0,06 \cdot 10^{-2};$$

$$b_4 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (-5,18 - 5,42 - 5,31 - 5,24 + 4,72 + 5,25 + 5,28 + 5,04) = 0,11 \cdot 10^{-2};$$

$$b_4 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (-5,18 - 5,42 - 5,31 - 5,24 + 4,72 + 5,25 + 5,28 + 5,04) = 0,11 \cdot 10^{-2};$$

$$b_5 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (5,18 - 5,42 - 5,31 + 5,24 + 4,72 - 5,25 - 5,28 + 5,04) = 0,14 \cdot 10^{-2};$$

$$b_6 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (5,18 - 5,42 + 5,31 - 5,24 - 4,72 + 5,25 - 5,28 + 5,04) = 0,015 \cdot 10^{-2};$$

$$b_7 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (5,18 + 5,42 - 5,31 - 5,24 - 4,72 - 5,25 + 5,28 + 5,04) = 0,05 \cdot 10^{-2};$$

$$b_8 = \frac{10^{-2}}{8} \cdot (-5,18 + 5,42 + 5,31 - 5,24 + 4,72 - 5,25 - 5,28 + 5,04) = -0,06 \cdot 10^{-2}.$$

За однакової кількості паралельних дослідів ( $m_v = 5$ ) в усіх точках плану матриці дисперсію похибки визначення коефіцієнтів регресії обчислюємо за формулою:

$$S^2\{b_i\} = \frac{S^2\{y\}}{N \cdot m};$$

$$S^2\{b_i\} = \frac{1,4125 \cdot 10^{-7}}{8 \cdot 5} = 0,3 \cdot 10^{-8}.$$

Середньоквадратичне відношення дисперсії похибки визначення коефіцієнта регресії  $b_i$ :

$$S\{b_i\} = \sqrt{S^2\{b_i\}};$$

$$S\{b_i\} = \sqrt{0,38 \cdot 10^{-8}} = 0,54 \cdot 10^{-4}.$$

Значущість коефіцієнтів регресії визначаємо за  $t$ -критерієм Стюдента. Для кожного коефіцієнта обчислюємо значення  $t$ -критерію за формулою:

$$t_i = \frac{|b_i|}{S\{b_i\}};$$

$$t_1 = \frac{5,18 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 9,59 \cdot 10^2; \quad t_2 = \frac{0,06 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 11;$$

$$t_3 = \frac{0,03 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 5,6; \quad t_4 = \frac{0,11 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 20;$$

$$t_5 = \frac{0,14 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 25,9; \quad t_6 = \frac{0,015 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 2,8;$$

$$t_7 = \frac{0,05 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 9,26; \quad t_i = \frac{0,06 \cdot 10^{-2}}{0,54 \cdot 10^{-4}} = 11,1.$$

Для перевірки задаємо рівень значущості (наприклад  $q = 0,5 \%$ ) та здобуваємо величину степенів вільності  $N_{\text{зн}} = N(m - 1) = 32$ . Далі за даними таблиці 3.14 отримуємо критичне значення  $t_{\text{кр}}$ .

Таблиця 3.14 – Критерій Стьюдента

$N_{\text{зн}} = N(m - 1)$	$t_{\text{кр}}$ при $q, \%$	
	5,0	0,5
16	2,1190	3,2520
32	2,0360	3,0140

$N_{\text{зн}} = 32$  та  $q=5 \%$   $t_{\text{кр}} = 3,0140$ .

Якщо розраховане значення  $t_i$  виявиться більшим за  $t_{\text{кр}}$ , гіпотеза відкидається і коефіцієнт  $b_i$  визнається значущим. В іншому разі  $b_i$  вважається статистично незначущим, тобто  $b_i = 0$ .

$$\begin{aligned} t_1 &= 959 > 3,0140; & t_2 &= 11 > 3,0140; \\ t_3 &= 5,6 > 3,0140; & t_4 &= 20 > 3,0140; \\ t_5 &= 9,26 > 3,0140; & t_6 &= 2,8 < 3,0140; \\ t_7 &= 9,26 > 3,0140; & t_8 &= 11,1 > 3,0140. \end{aligned}$$

Отже, всі коефіцієнти, окрім  $t_6$ , є значущими, а  $t_6$  дорівнює нулю.

Рівняння регресії записуємо у такому вигляді:

$$y = 0,518 + 0,006x_1 + 0,003x_2 + 0,011x_3 + 0,014x_1x_2 + 0,005 - 0,006x_1x_2x_3.$$

Для перевірки адекватності моделі обчислюємо  $\bar{Y}_q$  – математичне значення параметра оптимізації, підраховане за рівнянням регресії:

$$\begin{aligned} \bar{Y}_1 &= 0,518 - 0,006 - 0,003 + 0,011 - 0,014 + 0,005 + 0,006 = 0,052; \\ \bar{Y}_2 &= 0,518 + 0,006 - 0,003 + 0,011 + 0,014 - 0,005 - 0,006 = 0,0547; \\ \bar{Y}_3 &= 0,518 - 0,006 + 0,003 + 0,011 + 0,014 + 0,005 - 0,006 = 0,0526; \\ \bar{Y}_4 &= 0,518 + 0,006 + 0,006 + 0,011 - 0,014 - 0,005 + 0,006 = 0,0521; \\ \bar{Y}_5 &= 0,518 - 0,006 - 0,003 - 0,011 - 0,014 - 0,005 - 0,006 = 0,0477; \\ \bar{Y}_6 &= 0,518 - 0,006 + 0,003 - 0,011 + 0,014 - 0,005 + 0,006 = 0,0526; \\ \bar{Y}_7 &= 0,518 + 0,006 + 0,003 - 0,011 - 0,014 + 0,005 - 0,006 = 0,0498. \end{aligned}$$

Оцінку дисперсії адекватності визначаємо за формулою:

$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{m}{N-l} \sum_{q=1}^N (\hat{Y}_1 - \bar{y}_q)^2,$$

де  $l$  – кількість значущих коефіцієнтів (включаючи  $b_0$ );



$$S_{\text{ад}}^2 = \frac{5 \cdot 10^{-4}}{8-7} [(5,18-5,20)^2 + (5,42-5,47)^2 + \\ + (5,31-5,26)^2 + (5,24-5,21)^2 + (4,72-4,77)^2 + \\ + (5,25-5,28)^2 + (5,28-5,26)^2 + (5,04-4,98)^2] = 1 \cdot 10^{-8}.$$

Адекватність моделі перевіряємо за критерієм Фішера. Модель є адекватною, якщо виконується наступна умова:

$$F = \frac{S_{\text{ад}}^2}{S^2\{y\}} < F_{\text{кр}},$$

де  $F_{\text{кр}}$  – табличне значення критерію Фішера, що визначається за таблицею 3.15 для числа ступенів вільності  $\nu_{\text{лад}} = N - l = 8 - 7$  та  $\nu_{2\text{ад}} = N(m-1) = 8 \cdot (5-1) = 32$ .

Таблиця 3.15 – Критерій Фішера

$\nu_{2\text{ад}} = N(m-1)$	$F_{\text{кр}} \text{ при } \nu_{\text{лад}} = N - l = 8 - 7$							
	1	2	3	4	5	6	7	8
16	4,49	3,63	3,25	3,01	2,85	2,74	2,66	2,59
24	4,26	3,40	3,01	2,78	2,62	2,51	2,43	2,36
30	4,08	3,23	2,84	2,61	2,45	2,34	2,25	2,18

Таким чином,

$$F = \frac{10^{-8}}{1,425 \cdot 10^{-7}} = 0,0707 < F_{\text{кр}} = 4,08.$$

#### *Аналіз результатів*

Унаслідок проведених розрахунків отримано рівняння математичної моделі технологічного процесу пресування гумових герметичних прокладок. Використавши критерій Фішера, встановили, що модель є адекватною [31, 32].

Отриману модель можна використати під час аналізу технологічного процесу пресування прокладок та прогнозування його якості.

Задачу можна розв'язати, застосувавши засоби обчислювальної техніки.

#### *Задача 2*

За допомогою методу дисперсійного аналізу дослідити, як впливає на величину осьового тиску свердла швидкість свердління та величина подавання при свердлінні приєднувальних фланців. Результати вимірювань наведена в таблиці 3.16.

Таблиця 3.16 – Результати вимірювань

Тип матеріалу	Подача, хв./об.	Швидкість, м/хв.				
		100	200	475	715	870
		Осьовий тиск				
1	0,004	122	108	108	66	80
	0,008	322	276	248	248	276
	0,014	640	612	543	612	696
2	0,004	192	136	122	108	136
	0,008	386	333	318	472	499
	0,014	810	779	810	893	458

*Розв'язання*

Середнє значення з  $m = 3$  повторних досліджень для кожного сполучення рівнів  $j$  та  $q$  факторів  $x_1$  та  $x_2$  визначаємо за формулою:

$$\bar{y}_{jq} = \frac{1}{m} \sum_{l=1}^m y_{jql}.$$

Для першого матеріалу

$$y_{11} = \frac{1}{3} \cdot (122 + 322 + 640) = 364,67; \quad y_{21} = \frac{1}{3} \cdot (108 + 276 + 612) = 332;$$

$$y_{31} = \frac{1}{3} \cdot (108 + 248 + 543) = 299,67; \quad y_{41} = \frac{1}{3} \cdot (66 + 248 + 612) = 308,67;$$

$$y_{51} = \frac{1}{3} \cdot (108 + 276 + 696) = 350,67.$$

Для другого матеріалу

$$y_{12} = \frac{1}{3} \cdot (192 + 386 + 810) = 462,67; \quad y_{22} = \frac{1}{3} \cdot (136 + 333 + 779) = 416;$$

$$y_{32} = \frac{1}{3} \cdot (122 + 318 + 810) = 416,67; \quad y_{42} = \frac{1}{3} \cdot (108 + 472 + 893) = 491;$$

$$y_{52} = \frac{1}{3} \cdot (136 + 499 + 820) = 485.$$

Середнє значення рядками з  $m = 15$  паралельних досліджень для кожного  $j$ -го рівня фактора  $x_1$  визначимо за формулою:

$$\bar{y}_i = \frac{1}{N_2} \sum_{q=1}^{N_2} \bar{y}_{jq}.$$

Для першого матеріалу

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{5} \cdot (364,67 + 332 + 299,67 + 308,67 + 350,67) = 331,136.$$

Для другого матеріалу:

$$\bar{y}_2 = \frac{1}{5} \cdot (462,67 + 416 + 614,67 + 491 + 485) = 454,268.$$

Середнє значення за рядками з  $N_2 m = 15$  паралельних досліджень для кожного  $j$ -го рівня фактора  $x_2$  визначимо за формулою:

$$\bar{y}_q = \frac{1}{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} \bar{y}_{jq};$$

$$\bar{y}_1 = \frac{1}{2} \cdot (364,67 + 452,67) = 413,67; \quad \bar{y}_2 = \frac{1}{2} \cdot (332 + 416) = 374;$$

$$\bar{y}_3 = \frac{1}{2} \cdot (299,67 + 416,67) = 358,17; \quad \bar{y}_4 = \frac{1}{2} \cdot (308,67 + 491) = 399,84;$$

$$\bar{y}_5 = \frac{1}{2} \cdot (350,67 + 485) = 417,935.$$

Загальне середнє всіх  $N_1 N_2 m = 30$  за всіма  $N_1 N_2$  сполученнями рівнів визначимо за формулою:

$$\bar{y} = \frac{1}{N_2} \sum_{q=1}^{N_2} \bar{y}_q = \frac{1}{N_1} \sum_{j=1}^{N_1} \bar{y}_j;$$

$$\begin{aligned} \bar{y} &= \frac{1}{5} \cdot (413,67 + 374 + 358,17 + 399,84 + 417,935) = \\ &= \frac{1}{5} \cdot (331,136 + 454,268) = 392,70. \end{aligned}$$

Загальна сума квадратів відхилень від загального середнього:

$$S_0 = \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{q=1}^{N_2} \sum_{l=1}^m (y_{jql} - \bar{y}) = S_0 + S_1 + S_2 + S_{12},$$

де  $S_0$  – сума квадратів відхилень усередині серії:

$$S_0 = \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{q=1}^{N_2} \sum_{l=1}^m (y_{jql} - \bar{y}_{jq})^2.$$

Для визначення впливу на результат факторів  $x_1$ ,  $x_2$ ,  $x_1x_2$  обчислюємо:

а) суму квадратів відхилень між рядками:

$$S_1 = N_2 m \sum_{j=1}^{N_1} (\bar{y}_j - \bar{y})^2 ;$$

$$S_1 = 5 \cdot 3 \cdot [(331,136 - 392,7)^2 + (454,268 - 392,7)^2] = 113711,17 ;$$

б) суму квадратів відхилень між стовпцями:

$$S_2 = N_1 m \sum_{q=1}^{N_2} (\bar{y}_q - \bar{y})^2 ;$$

$$S_2 = 2 \cdot 3 \cdot [(413,67 - 392,7)^2 + (374 - 392,7)^2 + (358 - 392,7)^2 + (399,84 - 392,7)^2 + (417,835 - 392,7)^2] = 16057,3734 ;$$

в) суму квадратів відхилень між серіями:

$$S_{12} = m \sum_{j=1}^{N_1} \sum_{q=1}^{N_2} (\bar{y}_{ijq} - \bar{y}_j - \bar{y}_q + \bar{y})^2 ;$$

$$\begin{aligned} S_{12} = 3 \cdot & [(364,67 - 331,136 - 413,67 + 392,7)^2 + \\ & + (332 - 331,136 - 399,8 + 392,7)^2 + \\ & + (350,67 - 331,136 - 417,8 - 392,7)^2 + \\ & + (462,67 - 454,268 - 413,67 + 392,7)^2 + \\ & + (416 - 454,268 - 374 + 392,7)^2 + \\ & + (416,67 - 454,268 - 358,2 + 392,7)^2 + \\ & + (491 - 454,268 - 417,8 + 392,7)^2 + \\ & + (485 - 454,268 - 417,8 + 392,7)^2] = 8598 . \end{aligned}$$

Величину ступенів вільності визначимо так:

$$f_1 = (N_1 - 1) \cdot (N_2 - 1) - (2 - 1) \cdot (5 - 1) = 4 ;$$

$$f_2 = N_1 \cdot N_2 (m - 1) = 2 \cdot 5 \cdot (3 - 1) = 20 .$$

$$F_{кр} = 5,8.$$

Вплив факторів  $x_1$  та  $x_2$  вважається значущим, якщо

$$F_{1\text{розрах}} = \frac{S_1^2}{S_{12}^2} > F_{кр} ; \quad F_{2\text{розрах}} = \frac{S_2^2}{S_{12}^2} > F_{кр} ;$$

$$F_{1\text{розрах}} = \frac{S_1 \cdot (N_1 \cdot N_2 - N_2 - N_1 + 1)}{S_{12} \cdot (N_1 - 1)};$$

$$F_{2\text{розрах}} = \frac{S_{12} \cdot (N_1 \cdot N_2 - N_1 - N_2 + 1)}{S_{12} \cdot (N_2 - 1)};$$

$$F_{1\text{розрах}} = \frac{113711,17 \cdot (2 \cdot 5 - 5 - 2 + 1)}{8598 \cdot (2 - 1)} = 52,9012 > F_{\text{кр}} = 5,8;$$

$$F_{2\text{розрах}} = \frac{16057,3734 \cdot (10 - 2 - 5 + 1)}{8598 \cdot (5 - 1)} = 1,8675 < F_{\text{кр}} = 5,8.$$

### *Аналіз результатів*

Шляхом проведення розрахунків встановлено, що на величину осьового тиску свердла при свердлінні приєднувальних фланців найбільше впливає величина подання. Змінюючи величину подання залежно від матеріалу та швидкості обертання свердла, можна підібрати її такою, щоб розшарування оброблюваного матеріалу та крайові дефекти отворів були мінімальними.

### 3.3.3 Задачі для самостійного розв'язання

#### *Задача 1*

Здійснити дисперсний аналіз результатів технологічного експерименту – визначити час нагрівання обичайок прес-форм. Рівень єдиного фактора  $A$  – три різні типи обичайок. Експеримент повністю рандомізований. Перевірити гіпотезу про те, що середній час нагрівання однаковий для всіх типів обичайок.

Вихідні дані наведено в таблиці 3.17.

Таблиця 3.17 – Експериментальні дані

Тип обичайки	$A_1$		$A_2$		$A_3$	
Час нагрівання обичайок	19	20	20	40	16	19
	23	20	20	24	15	17
	26	18	32	22	18	19
	18	35	27	18	26	18

#### *Задача 2*

Температура розплавлення клею у ванні в сталому режимі становить 1273 К. Після запровадження 10 % збурювання за напругою температура фіксувалася через інтервал часу  $6 \cdot 10^2$  с і мала такі значення: 1273; 1315; 1348; 1373; 1393; 1415; 1418; 1420; 1421; 1421 К. Визначити вид перехідної функції, сталу часу та час установлення режиму на новому рівні.

### Задача 3

Чи можна довірити особисте клеймо бригаді монтажників загалом (у бригаді чотири особи), якщо особисте клеймо довірено одному  $N_1$ ?

Дані контрольних вимірювань параметрів давачів фізичних величин, відібраних на робочих місцях монтажників в повністю рандомізованому порядку наведено в таблиці 3.18.

Таблиця 3.18 – Експериментальні дані

Номер монтажника	$A_1$		$A_2$		$A_3$		$A_4$	
Значення вихідного параметра давачів фізичних величин	24,5	33,7	38,6	34,1	31,9	25,4	34,6	32,7
	31,2	27,6	28,9	30,2	27,2	29,6	30,5	31,2
	34,1	25,8	35,1	31,7	34,3	32,6	29,7	29,9
	32,3	31,2	30,6	28,5	28,3	29,0	32,3	30,1

### Задача 4

Щоб отримати дані для конструювання автоматичного пристрою управління технологічним процесом герметизації приєднувальних фланців проведено експеримент. Експериментальні дані наведено в таблиці 3.19 [32].

Таблиця 3.19 – Експериментальні дані

Швидкість пересування (фактор $B$ )	Температура хвилі (фактор $A$ )								
	220 °C ( $A_1$ )			260 °C ( $A_2$ )			280 °C ( $A_3$ )		
1,5 м/хв ( $B_1$ )	32	38	29	6	9	7	15	11	22
	34	26	36	4	11	8	18	21	16
2,5 м/хв ( $B_2$ )	39	41	35	12	9	15	28	31	26
	34	43	40	13	16	10	30	29	32

Обрано три рівні температури (фактор  $A$ ) та два рівні швидкості конвеєра пересування фланців (фактор  $B$ ). Контролювалась кількість «холодних» з'єднань. Порядок проведення експерименту повністю рандомізований.

## **4 ТЕХНОЛОГІЧНЕ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ ВИХІДНИХ ПАРАМЕТРІВ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

### **4.1 Технологічна підготовка виробництва виробів газового обладнання й трубопроводних систем**

Технологічна підготовка ремонтно-механічного виробництва газової промисловості та енергетики здійснюється за певним календарним планом. Вона включає розроблення нових (або удосконалення раніше засвоєних) методів і способів відновлення газового обладнання й трубопроводних систем, їхніх деталей і вузлів або проектування прогресивних пристроїв, пристосувань та інструментів для виконання ремонту, а також упровадження в практику ремонту газового обладнання економічно безпечних матеріалів, наприклад водних мийно-очисних композицій.

Функції технологічної підготовки виробництва щодо відновлення сталої роботи газового обладнання й трубопроводних систем різноманітні й полягають у визначенні можливості відновлення поверхні деталі чи вузла та виконанні робіт відповідно до технічних умов їхньої експлуатації; з'ясуванні переваг та недоліків різних варіантів технологічних рішень з погляду їхньої відповідності передовим тенденціям розвитку технології ремонту систем газопостачання; забезпеченні безперебійності постачання енергоносія споживачам; досягненні надійності та довговічності відновленої деталі, вузла на рівні не нижче нового наявного.

Організація підготовки виробництва відновлювальних систем газопостачання, визначення складу технологічного оснащення та рівня оснащеності вважають вигідним, або найкращим, якщо будуть комплексно враховані сучасні вимоги, з одного боку, і можливості ремонтно-механічного підприємства – з іншого.

Підготовка виробництва до ремонту газового обладнання й систем газопостачання – складний процес, який включає цілий комплекс технічних, організаційних, економічних, екологічних і виробничих заходів. Це розроблення технологій, більш досконала, надійна та вигідна оснащеність ремонтного виробництва, раціональне вдосконалення раніше освоєних методів і способів ремонту деталей і вузлів газового обладнання та магістральних трубопроводів (рис. 4.1) [8].



Рисунок 4.1 – Загальна схема та послідовність технологічної підготовки виробництва з відновлення деталей та агрегатів газового обладнання



Методологія сучасної прогресивної організації підготовки ремонтного виробництва у газовій промисловості та енергетичних господарствах охоплює всі різновиди робіт – від відновлення деталей, агрегатів до ремонту складного газового обладнання, наприклад компресорних і газонаповнювальних станцій, систем транспортування та згоряння газу.

Технологічна підготовка ремонтно-механічного виробництва є багатоетапним комплексним процесом, під час здійснення якого розглядається певне коло завдань.

На першому етапі вирішуються завдання, обумовлені плановими й науково-дослідними роботами. Це вивчення можливостей реалізації досягнень науково-технічного прогресу на певному ремонтному підприємстві; визначення перспектив розвитку виробництва; оновлення основних фондів, їхньої структури; вивчення попиту щодо нових видів послуг і продукції, а також визначення районів їхнього споживання та джерел отримання сировини й матеріалів, комплектувальних деталей і агрегатів. Особливо важливо на цьому етапі скласти характеристики нових ремонтних послуг та визначитись зі способами їхнього рекламування.

Другим етапом підготовки є конструкторська підготовка, головним завданням якої є складання завдань щодо проектно-конструкторських розробок технологічного виробництва, а також виготовлення та випробування дослідних зразків засобів малої механізації й автоматизації ремонтно-механічного виробництва.

На третьому етапі розробляють і проектують технологічні процеси ремонту, наприклад обирають технологічне зварювально-монтажне, механічне, трубозаготівельне та інше обладнання, технологічне оснащення та допоміжні матеріали. На цьому етапі розраховують також нормативи й потреби щодо усіх видів ресурсів, проектують і виготовляють необхідне оснащення, визначають систему контролю якості заготівель, деталей та вузлів відновлюваного обладнання, виконують організаційні роботи: вирішують завдання, пов'язані із розрахуванням нормативів організації ремонту, розробляють планування або перепланування виробничих ділянок, обирають їхню радіальну структуру, а також здійснюють завдання щодо удосконалення спеціалізації ремонтно-експлуатаційних підрозділів тощо.

На четвертому етапі технологічної підготовки виробництва розраховують потужність провідних ремонтно-експлуатаційних підрозділів ремонтної бази, розробляють систему стимулювання праці, визначають ефективність упровадження нововведень у ремонтну практику ділянки, майстерні, підприємства, господарства загалом.

Основними функціями матеріальної підготовки ремонтного виробництва є організація усього зовнішнього постачання та кооперації, складання замовлень і забезпечення виробництва матеріалами, запчастинами та необхідним обладнанням.

Система технологічної підготовки ремонтно-експлуатаційного виробництва до проведення ремонтних робіт у газовому господарстві передбачає також вирішення завдань, пов'язаних із керуванням відновлювальними ремонтними роботами. До них належать організація обслуговування транспортом, завантажувально-розвантажувальними механізмами, підтримання їх в працездатному стані. Вирішуються питання щодо зберігання й видачі матеріальних цінностей, охорони праці й екологічної безпеки проведення ремонту.

Таким чином, технологічна підготовка ремонтного виробництва свідчить про важливість і значущість усього комплексу робіт із підготовки виробництва до проведення ремонту газових і енергетичних систем, їхнього обладнання [8].

## **4.2 Забезпечення точності операцій складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем**

### **4.2.1 Розрахування точності складання вихідних параметрів**

Під час виробництва й ремонту виробів газового обладнання і трубопровідних систем застосовують такі методи забезпечення заданої точності вихідних параметрів функційних вузлів: повної взаємозамінності, неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, припасовування й регулювання.

Варіант складального процесу обирають шляхом порівняння результатів аналізу точності вихідних параметрів (у межах загальної теорії точності) за відомої точності параметрів елементів і похибки, що вноситься як результат складально-монтажних операцій, із припустимими значеннями точності вихідних параметрів і наступним аналізом результатів цього порівняння. Унаслідок вирішення завдання отримаємо рекомендації щодо вибору оптимального варіанта складання (повної та неповної взаємозамінності, групової взаємозамінності, припасування або регулювання). Математична модель розв'язання такої задачі подається у

вигляді системи рівнянь і нерівностей. Стосовно синтезу складання функційного вузла модель має такий вигляд:

$$\sigma_{п.в}^2 = \sigma_{іск}^2 \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>U}^n \rho_{iU} A_{ij} A_{iu} \sigma_j \sigma_u ; \quad (4.1)$$

$$i=1, m; \quad j=1, n;$$

$$\sigma_{ідоп} \geq \sigma_{іп.в} ; \quad (4.2)$$

$$\sigma_{ідоп} \geq \frac{1}{k_{\Sigma}} \sigma_{іп.в} , \quad (4.3)$$

де  $\sigma_{іп.в}$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го вихідного параметра, що утворюється за умовами повної взаємозамінності;

$\sigma_{іск}$  – середньоквадратичне відхилення  $i$ -го вихідного параметра, що утворюється як наслідок складального процесу;

$A_{ij}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го параметра елемента на  $j$ -й вихідний параметр вузла;

$A_{iu}$  – коефіцієнт впливу  $i$ -го параметра елемента на  $u$ -й вихідний параметр вузла;

$\sigma_j$  – середньоквадратичне відхилення  $j$ -го параметра елемента;

$\rho_{iU}$  – коефіцієнт кореляції між параметрами багатовимірних елементів;

$n$  – кількість параметрів елементів, з яких складається вузол;

$m$  – кількість вихідних параметрів вузла;

$\sigma_{ідоп}$  – допустиме середньоквадратичне відхилення вихідного параметра;

$k_{\Sigma}$  – коефіцієнт ризику.

Перша група, що включає  $m$  рівнянь, відображає функційні взаємозв'язки між вихідними параметрами вузла та параметрами елементів, із яких він складається, беручи до уваги похибки, що вносяться складальним процесом.

Друга група (група нерівностей) визначає умови виконання складального процесу за допомогою методу повної взаємозамінності.

Третя група (група нерівностей) умовно визначає виконання складального процесу за допомогою методу повної взаємозамінності, де коефіцієнт ризику  $k_{\Sigma}$  становить допустимий за критерієм собівартості відсоток браку. Невиконання умови спричиняє перехід до методу групової взаємозамінності з попередньою селекцією заздалегідь визначеної кількості

елементів із зменшеною величиною  $\sigma_j$ . Якщо і в цьому разі не вдасться виконати  $\sigma_{i\text{дод}}$ , необхідно перейти до методу припасування або регулювання.

Рівняння вихідного параметра має вигляд

$$N_i = f(x_1, x_2, \dots, x_j, \dots, x_m), \quad (4.4)$$

тобто є функцією параметрів елементів  $x_j$  величин  $\sigma_{i\text{ск}}$ ,  $\sigma_j$ ,  $\sigma_{i\text{дод}}$ ,  $k_\Sigma$ ,  $\sigma_u$ ,  $l$  (кількість селектованих елементів) і номінальних значень параметрів елементів  $x_{j0}$ .

Це рівняння використовується для визначення коефіцієнтів впливу  $A_{ij}$  за допомогою методу часткових похідних та наступного формування рівняння похибки, яку також можна визначити за статистичними даними запланованого експерименту або шляхом регресійно-кореляційного аналізу за даними пасивного експерименту.

Далі обчислюємо похибку параметра  $N_i$ . При цьому одночасно визначаються середньоквадратичне відхилення та максимальне відхилення  $\sigma_{i\text{п.в}}$ , яка дорівнює  $3\sigma_{i\text{п.в}}$  за умови врахування законів розподілу всіх параметрів елементів та штучного приведення їх до звичайного (за рівнем  $P = 0,9973$ ) введення коефіцієнтів відносного розсіювання  $k_j$ , що використовуються в теорії точності. У цьому разі

$$\sigma_{i\text{п.в}} = k_i^2 + \sigma_{i\text{ск}}^2 + \sum_{j=1}^n A_{ij}^2 k_j^2 \sigma_j^2 + 2 \sum_{j>0}^n P_{ju} A_{ij} A_{iu} k_j k_u \sigma_j \sigma_u; \quad (4.5)$$

$$\sigma_{i\text{п.в}} = 3\sigma_{i\text{п.в}}, \quad (4.6)$$

де  $k$  – коефіцієнт відносного розсіювання,  $k_i = \frac{\delta\sigma_i}{\Delta_i}$ ;

$\Delta_i$  – поле розсіювання величини параметра  $N_i$  для  $P = 0,69973$ .

Під час вирішення задачі синтезу процесу складання послідовно перевіряють можливість застосування кожного із зазначених методів складання. Критерій можливості застосування методу повної взаємозамінності полягає у виконанні умови (4.2) під час переходу до величини  $\sigma_{i\text{п.в}}$ :

$$\sigma_{i\text{п.в}} \leq \sigma_{i\text{дод}}. \quad (4.7)$$

У разі виконання умови (4.7) оптимальним є метод повної взаємозамінності і подальший аналіз не здійснюється, результати обчислення та порівняння надходять на вихід. Якщо умова (4.7) не виконується, необхідно зробити висновок про неможливість застосування методу повної

взаємозамінності. Забезпечити необхідну точність вихідних параметрів можна в результаті селекції вхідних елементів, щоб зменшити їхні похибки, що є досить трудомістким заняттям і збільшує собівартість, або шляхом визначення відсотка браку виробів за характеристиками точності допустимих вихідних параметрів  $N_i$ . Здебільшого, особливо в умовах багатосерійного та масового виробництва, слід задіяти другий варіант і переходити до подальших розрахунків, аналізуючи можливість застосування методу неповної взаємозамінності. Відхилення  $\sigma_i$  вихідного параметра  $N_i$  має задовольняти умові (4.6). З урахуванням умов (4.4) та (4.5) отримаємо умову (4.8) для виконання складального процесу за допомогою методу неповної взаємозамінності:

$$\delta_{\text{п.в}} = \frac{1}{k_{\Sigma}} \delta_{\text{п.в}} \leq \delta_{\text{дод}}. \quad (4.8)$$

Коефіцієнт ризику  $k_{\Sigma} > 1$  для методу неповної взаємозамінності обираємо на підставі допустимого відсотка ризику (браку) за таблицею 4.1.

Таблиця 4.1 – Залежність відсотка ризику від  $k_{\Sigma}$

Відсоток ризику	0,5	1,0	2,0	4,0	5,0	6,0	8,0	10,0
$k_{\Sigma}$	1,05	1,11	1,21	1,30	1,33	1,36	1,40	1,44

У разі виконання умови (4.8) за заданого  $k_{\Sigma}$  оптимальним є метод неповної взаємозамінності і подальші розрахунки припиняються. Якщо умови не виконуються, аналізується можливість використання методу групової взаємозамінності, коли необхідно обрати групу елементів із найбільшими значеннями коефіцієнтів впливу  $A_{ij}$  та застосувати селекцію цих елементів, заздалегідь обумовивши межі зменшення розбіжностей параметрів елементів [8, 30, 31]. У такому разі похибка вихідного параметра  $\delta_{ic}$  повинна задовольняти умову:

$$\delta_{ic} \leq \delta_{\text{дод}}. \quad (4.9)$$

Кількість селектованих елементів та їхні допустимі відхилення визначаються вартісними обмеженнями.

У разі виконання умови (4.9) вирішення завдання завершується висновком про те, що оптимальним є метод групової взаємозамінності.

У разі його невиконання необхідно перейти до методу припасовування та регулювання. Як елемент, за допомогою якого здійснюється компенсація похибки, використовується елемент із максимальним  $A_{ij}$ . Похибка цього

елемента ( $\delta_{ij}$ ) дорівнює нулю, що дозволяє зменшити розбіжності вихідного параметра  $\delta_{ip}$ . Далі визначають величину компенсації відхилення елемента  $\delta_{ip}$  за умови, що  $\delta_{ip} \leq \delta_{i\text{дод}}$  :

$$B = \delta_{i\text{п.в}} - \delta_{ip} ; \quad (4.10)$$

$$\delta_{ij} = \frac{B}{A_{ij}} . \quad (4.11)$$

Якщо

$$\delta_{ip} \leq \delta_{i\text{дод}} , \quad (4.12)$$

то обраний варіант методу припасування й регулювання задовольнятиме вирішення завдання оптимального синтезу технологічного процесу складання.

Якщо величина  $\delta_{ij}$  є незначною, вона може бути компенсована під час операції складання (метод припасування), якщо  $\delta_{ij}$  порівняно велика – вводиться додатковий елемент – компенсатор.

### **4.3 Організаційні основи складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем**

#### **4.3.1 Розрахування техніко-економічних показників складання виробів газового обладнання і трубопровідних систем**

Тип виробництва визначають на підставі аналізу конструкції виробів, програми випуску та дійсного річного фонду робочого часу. Для певного типу виробництва обирають оптимальні методи складання, необхідне обладнання та оснащення. Тип виробництва встановлюють за допомогою коефіцієнта серійності:

$$k_c = \frac{K_0}{n_p} , \quad (4.13)$$

де  $k_0$  – кількість складальних операцій за технологічним процесом;

$n_p$  – кількість робочих місць, необхідних для виконання процесу складання

$$n_p = \frac{N \sum_{i=1}^{K_0} T_{шт_i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_d}, \quad (4.14)$$

де  $N$  – річний обсяг випуску виробів, шт.;

$\sum_{i=1}^{K_0} T_{шт_i}$  – трудомісткість складання виробу, хв;

$T_{шт_i}$  – норма штучного часу  $i$ -ї складальної операції, хв;

$k$  – коефіцієнт виконання норм у процесі складання;

$\Phi_d$  – дійсний річний фонд часу, год;

$k_c \leq 1$  відповідає масовому виробництву,  $k_c > 1$  – серійному виробництву,  $k_c \gg 1$  – для невеликих програм та одиничного виробництва.

Тривалість виробничого циклу ( $T_{ц}$ ) – це час між запуском у виробництво та закінченням виготовлення партії виробів або одного виробу. Тривалість циклу обумовлюється поєднанням операцій [6, 30, 31].

У разі послідовного поєднання операцій

$$T_{ц} = N \cdot T_y, \quad (4.15)$$

де  $N$  – кількість виробів у партії;

$T_y$  – час проходження всіх операцій через один апарат.

У разі паралельного поєднання операцій кожен виріб надходить на наступну операцію без очікування проходження цієї операції всіма іншими виробами партії, тоді

$$T_{ц} = T_y + (N - 1) T_{шт \max}, \quad (4.16)$$

де  $T_{шт \max}$  – норма часу найбільш трудомісткої операції.

У разі застосування послідовно-паралельного способу поєднання операцій

$$T_{ц} = \sum_{i=1}^n t_{зм} + N \cdot T_{шт_k}, \quad (4.17)$$

де  $t_{зм}$  – зміщення у часі між початками двох операцій, що відбуваються послідовно, хв;

$T_{шт_k}$  – норма часу кінцевої операції, хв.

Якщо тривалість попередньої операції більша за наступну, то зміщення між цими операціями

$$t_{зм} = T_{шт_i} - (N - 1) T_{шт_{i+1}}. \quad (4.18)$$

Якщо попередня операція менша за наступну, то зміщення між операціями

$$t_{зм} = T_{шт_i} \cdot \quad (4.19)$$

Операції технологічного процесу бажано проектувати рівними одна одній за тривалістю однаковими або кратними. Це забезпечує легкість організації потокового виробництва. Розрахування поточкових і конвеєрних ліній передбачає визначення їхніх базових параметрів і виконується однаково. Під час розрахування необхідно визначити:  $\tau$  – такт потокової лінії, хв;  $T_{л}$  – темп потокової лінії, шт./год;  $t_{л}$  – ритм потокової лінії, хв, що розраховують тільки в тому разі, якщо деталі передаються транспортними партіями;  $n_p$  – кількість робочих місць на лінії;  $L$  – довжину потокової лінії або конвеєра, м;  $B_{л}$  – ширину стрічки транспортера, см;  $v_k$  – швидкість руху конвеєра, м/хв.

Такт потокової лінії

$$\tau = \frac{\Phi_3}{\Pi_{33}}, \quad (4.20)$$

де  $\Phi_3$  – фонд робочого часу за зміну, хв:

$$\Phi_3 = 492 - T_{об} - T_{відп}, \quad (4.21)$$

де  $T_{об}$  – час організаційно-технічного обслуговування лінії, хв;

$T_{відп}$  – час на відпочинок, хв;

$T_{об}$  і  $T_{відп}$  у сумі становлять 7–10 % від оперативного часу:

$$T_{оп} = T_o + T_d, \quad (4.22)$$

де  $T_o$  – основний технологічний час, хв;

$T_d$  – допоміжний час, що не перекривається, хв.;

$\Pi_{33}$  – змінна програма запуску, шт.:

$$\Pi_{33} = \frac{100 \cdot \Pi_3}{100 - p}, \quad (4.23)$$

де  $\Pi_3$  – змінне планове завдання випуску виробів, шт.;

$p$  – відсоток допустимого браку.

Темп потокової лінії

$$T_{л} = \frac{60 - (T_{об} + T_{відп}) / \text{год}}{\tau}, \quad (4.24)$$

де  $r$  – кількість годин в зміні ( $r = 8,2$ ).



Ритм потокової лінії

$$t_{\text{л}} = \frac{T_{\text{зм}} \cdot S}{\Pi_{\text{зз}}}, \quad (4.25)$$

де  $T_{\text{зм}}$  – тривалість зміни, хв.;

$S$  – кількість виробів, що складаються, к транспортній партії:

Для перервно-потоккових ліній

$$n_{\text{р}} = \sum_{i=1}^n \frac{T_{\text{шт}_i}}{\tau}. \quad (4.26)$$

У разі розташування робочих місць в лінію з одного боку стрічки транспортера

$$L = l_{\text{пит}} \cdot n_{\text{р}}, \text{ якщо } l_{\text{пит}} \geq 1,2 \text{ м.} \quad (4.27)$$

У разі розташування робочих місць з двох боків стрічки транспортера в шаховому порядку

$$L = l_{\text{пит}} \left( \frac{n_{\text{р}}}{2} + 1 \right), \text{ якщо } l_{\text{пит}} \geq 0,8 \text{ м,} \quad (4.28)$$

де  $l_{\text{пит}}$  – питома довжина одного робочого місця за напрямом руху стрічки транспортера, м.

$$v_{\text{к}} = \frac{l_{\text{пит}}}{\tau}. \quad (4.29)$$

Перервно-потоккові (прямотечійні) лінії характеризуються відсутністю чіткої синхронності операції. Ритмічність такої лінії полягає в тому, що через певні проміжки часу на кожній операції оброблюється чітко визначена, однакова кількість виробів у разі різного завантаження робочих місць. Отже, під ритмом роботи  $t_{\text{л}}$  прямотечійної лінії розуміють інтервал часу (кратний тривалості зміни), протягом якого на лінії формується заготовка заданої величини. Унаслідок різниці між роботами за операціями, що різняться продуктивністю, створюються міжопераційні оперативні запаси.

Повне використання фонду робочого часу досягається шляхом упровадження багатостатного обслуговування та суміщення обслуговування операцій. Для цього складають графік обслуговування, за яким визначаються періоди роботи обладнання й робітників, порядок і час переходу робітників, які обслуговують декілька операцій протягом зміни.

Час роботи робітника на одному робочому місці – це період комплектування запасу:

$$T_{\text{x}} = t_{\text{л}} \cdot k_{\text{з}}, \quad (4.30)$$

де  $k_3$  – коефіцієнт завантаження робітника на одному робочому місці на певній операції:

$$k_3 = \frac{T_{шт}}{\tau}. \quad (4.31)$$

Упродовж періоду комплектування запасу план роботи на суміжних операціях залишається незмінним, а величина міжопераційного запасу змінюється від нуля до максимального абсолютного значення. Стала величина запасу становить кінець періоду  $T_x$ , а його від’ємна величина – початок періоду  $T_x$ .

Величину міжопераційного зворотного доробку  $z_{max}$  визначають за таким виразом:

$$z_{max} = \left( \frac{n_{p_i}}{T_{шт_i}} - \frac{n_{p_{i+1}}}{T_{шт_{i+1}}} \right) \cdot T_x, \quad (4.32)$$

де  $n_{p_i}$  та  $n_{p_{i+1}}$  – кількість робочих місць на кожній з двох суміжних операцій, що здійснюються протягом періоду  $T_x$ .

Норму виробітку розраховують для різних проміжків технологічного часу (години, зміни тощо), вона обумовлюється типом виробництва.

У серійному виробництві змінна норма виробітку

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - T_{пз}}{T_{шт}}, \quad (4.33)$$

де  $T_{пз}$  – підготовчо-завершальний час, що витрачається на підготовчі дії перед початком складання та на завершальному етапі, після складання партії виробів (ознайомлення з технологічним процесом, транспортування деталей та складальних одиниць, налагодження обладнання тощо).

У масовому виробництві, за наявності налагоджувача та у разі подання деталей, складальних одиниць і матеріалів на робоче місце, змінну норму виробітку визначають за виразом:

$$H_{зм} = \frac{T_{зм}}{T_{шт}}. \quad (4.34)$$

Якщо її складають на конвеєрних та потокових лініях, вона визначається за виразом:

$$H_{зм} = \frac{T_{зм} - (T_{об} + T_{відп})}{T_o + T_b}. \quad (4.35)$$

Економічне розрахування здійснюють у разі необхідності обрати найефективніший варіант технологічного процесу, спеціальне оснащення, обґрунтувати технологічність виробів газового обладнання й трубопровідних систем.

Технологічний процес обирають із низки прийнятних варіантів, визначивши критичну кількість пристроїв або шляхом порівнянням приведеної технологічної собівартості.

Технологічна собівартість виробів газового обладнання й трубопровідних систем ( $C_T$ ) – це частка собівартості, що включає витрати, які можуть істотно змінюватися у разі зміни технологічного процесу [27, 29, 32]:

$$C_T = M + 3 + \Pi + E = P + \frac{B}{N_p}, \quad (4.36)$$

де  $M$  – витрати на матеріали, що використовуються в з'єднаннях;

$3$  – зарплата робітників, що працюють на виробництві;

$E$  – витрати, пов'язані з експлуатацією обладнання та універсальних пристроїв;

$P = M + 3 + E$  – річні витрати на складання одного виробу;

$\Pi = \frac{B}{N_p}$  – річні витрати з експлуатації, амортизації та налагодження

спеціального оснащення, що стосуються одного складаного виробу.

Критичну кількість виробів, за якою собівартість двох порівнюваних варіантів однакова, визначають за рівністю  $C_{T1} = C_{T2}$ :

$$N_{кр} = \frac{P_2 - P_1}{B_1 - B_2}. \quad (4.37)$$

#### 4.3.2 Приклади розв'язання задач

##### Задача 1

Визначити час виготовлення партії виробів газового обладнання й трубопровідних систем у кількості 1000 шт. якщо операції поєднуються по-різному, а норми штучного часу на окремих операціях такі:

$$\begin{aligned} T_{шт1} &= 2 \text{ хв}; T_{шт2} = 6 \text{ хв}; T_{шт3} = 4 \text{ хв}; T_{шт4} = 4 \text{ хв}; \\ T_{шт5} &= 3 \text{ хв}; T_{шт6} = 2 \text{ хв}; T_{шт7} = 5 \text{ хв}. \end{aligned}$$

### *Розв'язання*

Час проходження усіх операцій для одного виробу

$$T_y = \sum_{i=1}^n T_{штi} = 26 \text{ хв.}$$

У разі послідовного поєднання складальних операцій

$$T_{ц} = N \cdot T_y,$$

$$T_{ц} = 1000 \cdot 26 = 26000 \text{ хв} = 433 \text{ год } 2 \text{ хв.}$$

У разі послідовного поєднання складальних операцій

$$T_{ц} = 26 + 6 \cdot (1000 - 1) = 6020 \text{ хв} = 100 \text{ год } 2 \text{ хв.}$$

У разі паралельного поєднання складальних операцій необхідно визначити зміщення між початками суміжних операцій:

$$t_{зм12} = T_{шт1} = 2 \text{ хв}; t_{зм23} = 6000 - 999 \cdot 4 = 2004 \text{ хв}; t_{зм34} = 0;$$
$$t_{зм45} = 4000 - 999 \cdot 3 = 1003 \text{ хв}; t_{зм56} = 3000 - 999 \cdot 2 = 1002 \text{ хв}; t_{зм67} = T_{шт6} = 2 \text{ хв.}$$

$$T_{ц} = (2 + 2004 + 1003 + 1002 + 2) + 5000 = 9013 \text{ хв} = 150 \text{ год } 13 \text{ хв.}$$

### *Задача 2*

Запірний клапан складають шляхом виконання семи складальних операцій, норми штучного часу яких такі:

$$T_{шт1} = 2 \text{ хв}; T_{шт2} = 6 \text{ хв}; T_{шт3} = 4 \text{ хв}; T_{шт4} = 4 \text{ хв};$$
$$T_{шт5} = 3 \text{ хв}; T_{шт6} = 2 \text{ хв}; T_{шт7} = 5 \text{ хв.}$$

Визначити, за якого способу організації процесу складання партія клапанів із 300 шт. буде виготовлена швидше [24, 30, 31].

### *Розв'язання*

Порівняємо три варіанти організації процесу складання – паралельний, послідовно-паралельний і потоковий, зробивши припущення, що змінне завдання у випадку потокового складання дорівнює 100 шт., а  $T_y = 26$  хв.

Визначимо, як скоротяться витрати часу у разі паралельного складання порівняно з послідовно-паралельним:

$$\Delta T_1 = \sum_{i=1}^n t_{змij} + T_k \cdot N - T_y - T_{\max} \cdot (N - 1) = \sum_{i=1}^k t_{змij} + N \cdot (T_{\max} - T_k) - T_y + T_{\max}.$$

Аналогічно до попередньої задачі визначимо зміщення між початками суміжних операцій у разі паралельно-послідовного поєднання операцій:

$$t_{зм12} = 2 \text{ хв}; t_{зм23} = 6 \cdot 300 - 299 \cdot 4 = 604 \text{ хв}; t_{зм34} = 0;$$
$$t_{зм45} = 4 \cdot 300 - 299 \cdot 3 = 303 \text{ хв}; t_{зм56} = 3 \cdot 300 - 299 \cdot 2 = 302 \text{ хв}; t_{зм67} = 2 \text{ хв.}$$

Звідси

$$\sum_{i=1}^6 t_{3Mij} = 2 + 604 + 03 + 302 + 2 = 1113 \text{ хв},$$

тоді

$$\Delta T_1 = 1113 - 300 \cdot (6 - 5) - 26 - 6 = 793 \text{ хв.} = 13 \text{ год. } 13 \text{ хв.}$$

Тривалість виробничого циклу у разі потокової організації складання визначається шляхом заміни  $T_{\max}$  на  $\tau$ . У цьому разі необхідно мати додаткові дані, наприклад змінну програми запуску ( $\Pi_{33}$ ), змінний фонд робочого часу ( $\Phi_{3M}$ ), такт потокової лінії ( $\tau$ ).

Приймемо, що  $\Pi_{33} = 94$  шт.;  $\Phi_{3M} = 470$  хв. Тоді  $\tau$  буде дорівнювати 5 хв/шт. Різниця між тривалістю виробничих циклів у разі паралельного й потокового способів складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем:

$$\Delta T_2 = T_y + T_{\max} \cdot (N - 1) - T_y - \tau \cdot (N - 1) = (T_{\max} - \tau) \cdot (N - 1).$$

Після подання відповідних значень:  $\Delta T_2 = 299 \text{ хв} \approx 5 \text{ год.}$

### Задача 3

Час на виконання всіх складальних операцій на поточковій лінії становить 142 хв. Визначити параметри потокової лінії, якщо витрати на організаційно-технічне обслуговування  $T_{об} = 12$  хв, час на відпочинок  $T_{відп} = 8$  хв, змінне планове завдання  $\Pi_{33} = 196$  шт., відсоток допустимого браку  $p = 2\%$ .

### Розв'язання

Визначимо:

$$\Pi_{33} = \frac{196 \cdot 100}{100 - p} = 200 \text{ шт.};$$

$$\tau = \frac{492 - 12 - 8}{200} = 2,35 \text{ хв./шт.};$$

$$n_p = \frac{142}{2} = 71 \text{ робоче місце.}$$

Прийнявши, що робочі місця з двох боків стрічки конвеєра розташовані в шаховому порядку, питома довжина робочого місця  $l_{\text{пит}} = 120$  см та ширина стрічки транспортера  $B_{\text{л}} = 30$  см, визначимо:

$$L = 120 \cdot \left( \frac{71}{2} + 1 \right) = 120 \cdot 36,5 = 4380 \text{ см} = 43 \text{ м } 80 \text{ см};$$

$$T_{\text{л}} = \frac{60 - (12 + 8)/8,2}{2,35} = 24 \text{ шт./год.}$$

#### Задача 4

Визначити величину міжопераційних обігових запасів під час складання виробу газового обладнання й трубопровідних систем на прямоотечійній лінії з нормами часу за операціями, поданими в таблиці 4.2.

Змінна програма випуску – 92 шт. Роботи відбуваються в дві зміни.

Таблиця 4.2 – Трудомісткість операцій складання виробів

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8
$T_{шт}, \text{хв}$	2,9	2,3	2,7	1,7	2,3	1,2	5,1	2,5

#### Розв'язання

Визначимо коефіцієнти запуску завантаження робітників на кожній операції:

$$k_{31} = 2,9 / 5,2 = 0,56; k_{32} = k_{35} = 2,3 / 5,2 = 0,44; k_{33} = 2,7 / 5,2 = 0,52;$$
$$k_{34} = 1,7 / 5,2 = 0,3; k_{36} = 1,2 / 5,2 = 0,23; k_{37} = 5,1 / 5,2 = 0,98.$$

Аналіз коефіцієнтів завантаження свідчить про те, що для виконання семи операцій достатньо чотирьох робітників. У цьому разі перший робітник поєднує першу і другу, другий – третю і восьму, третій – четверту, п'яту і шосту операції, четвертий – зайнятий тільки на сьомій операції.

Під час розрахування обігових запасів встановлюємо, що ритм роботи лінії  $t_{л}$  триває 240 хв – половину зміни. Визначимо період комплектації запасів на кожній операції:

$$T_{x1} = 240 \cdot 0,56 = 134 \text{ хв.}; T_{x2} = T_{x5} = 240 \cdot 0,44 = 106 \text{ хв.};$$
$$T_{x3} = 240 \cdot 0,52 = 125 \text{ хв.}; T_{x4} = 240 \cdot 0,33 = 80 \text{ хв.};$$
$$T_{x6} = 240 \cdot 0,23 = 55 \text{ хв.}; T_{x7} = 240 \text{ хв.}$$

Визначимо величини міжопераційних зворотних запасів:

$$z_{12} = 134 \cdot 1 / 2,9 - 134 \cdot 0 / 2,3 = 46 \text{ шт.};$$
$$z'_{12} = (0 / 2,9 - 1 / 2,3) \cdot 106 = -46 \text{ шт.}$$

Оскільки з початку зміни на другій операції протягом 134 хв робота не виконувалась, то на третій операції до моменту пуску лінії повинен бути сформований запас, якого вистачило б на  $T_x$ , що дорівнює 125 хв роботи:

$$z_{23} = (0 / 2,9 - 1 / 2,7) \cdot 125 = -46 \text{ шт.}$$

Протягом періоду  $T_x = 134 - 125 = 9$  хв складання на другій і третій операціях не проводиться,  $n_{p2} = n_{p3} = 0$  та  $z'_{23} = 0$ . Далі, працюючи протягом 106 хв на другій операції, перший робітник створює такий запас:

$$z''_{23} = (1 / 2,3 - 0 / 2,7) \cdot 106 = 46 \text{ шт.}$$

Аналогічно,

$$z_{34} = (1 / 2,7 - 1 / 1,7) \cdot 80 = -17 \text{ шт.};$$
$$z'_{34} = (1 / 2,7 - 0 / 1,7) \cdot (125 - 80) = 17 \text{ шт.}$$

Починаючи зі 125-ї хвилини складання на третій операції не відбувається, а отриманий запас  $z'_{34} = 17$  шт. зберігається до початку другої половини зміни:

$$z_{45} = (1 / 1,7 - 0 / 2,3) \cdot 80 = 46 \text{ шт.};$$
$$z'_{45} = (0 / 1,7 - 1 / 1,3) \cdot 106 = -46 \text{ шт.}$$

Протягом 55 хв, починаючи із 186-ї хвилини складання на четвертій і п'ятій операціях не відбувається,  $n_{p4} = n_{p5} = 0$  та  $z''_{45} = 0$  шт.:

$$z_{56} = (1 / 2,3 - 0 / 1,2) \cdot 106 = 46 \text{ шт.};$$
$$z'_{56} = (0 / 2,3 - 1 / 1,2) \cdot 55 = -46 \text{ шт.};$$
$$z_{67} = (0 / 1,2 - 1 / 5,1) \cdot 186 = -36 \text{ шт.};$$
$$z'_{67} = (1 / 1,2 - 1 / 5,1) \cdot 55 = 36 \text{ шт.};$$
$$z_{78} = (1 / 5,1 - 0 / 2,5) \cdot 125 = 24 \text{ шт.};$$
$$z'_{78} = (1 / 5,1 - 1 / 2,5) \cdot 115 = -24 \text{ шт.}$$

#### Задача 5

Визначити тривалість виробничого циклу складання одного вузла виробу газового обладнання і трубопровідних систем у цеху, якщо трудомісткість складальних операцій становить 10 год., трудомісткість контрольних операцій – 2 год., трудомісткість транспортних операцій – 3 год., час природних процесів, що передбачені технологією, – 20 год. Кількість операцій, що виконуються в цьому цеху, – 11, поза цехом – 5. Час міжопераційного зберігання в цеху – доба, а поза цехом – дві доби. Роботи відбуваються в дві зміни.

#### Розв'язання

$$T_{\text{ц}} = \frac{10 + 2 + 3 + 20}{16,4} + 1 \cdot (11 - 1) + 2 \cdot 5 = 22,4 \text{ роб. дні.}$$

Робочі дні переводять у календарні за допомогою коефіцієнта:

$$\xi = \frac{Д}{РД} = \frac{7}{5} = 1,4,$$

де Д – кількість календарних днів у тиждні;

РД – кількість робочих днів у тиждні.

Тоді

$$T_{ц} = 1,4 \cdot 22,4 = 31,5 \text{ календ. дн.}$$

#### Задача 6

Визначити середній час безвідмовної роботи автоматичної лінії складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем, якщо середній час обслуговування й усунення відмов становить 320 с, позациклові втрати часу – 3,2 с/шт., а циклова продуктивність – 0,12 шт./с.

#### Розв'язання

Визначимо імовірність відмови автоматичної лінії на кожному робочому циклі

$$W_{в} = \frac{\sum t_{п}}{Q_{сер}},$$

$$W_{в} = \frac{3,2}{320} = 0,01.$$

Середнє напрацювання на відмову:

$$K_{н} = \frac{1}{W_{в}},$$

$$K_{н} = \frac{1}{0,01} = 100 \text{ цикл.}$$

Час робочого циклу

$$T_{р} = \frac{1}{Q_{н}},$$

$$T_{р} = \frac{1}{0,12} = 8,33 \text{ с.}$$

Середній час безвідмовної роботи автоматичної лінії становить:

$$M_{сер} = K_{н} \cdot T_{р},$$

$$M_{сер} = 100 \cdot 8,33 = 833 \text{ с.}$$

#### Задача 7

Розрахувати організаційного-технічні параметри розподіленого пластинчастого вертикально-замкнутого конвеєра для складання виробів



газового обладнання й трубопровідних систем у разі дворядного розташування робочих місць у шаховому порядку.

*Вихідні дані:* максимальна кількість робочих місць на лінії  $K_{\max} = 40$ ; відстань між двома сусідніми робочими місцями з одного боку конвеєра  $l = 1,2$  м; довжина натяжної та приводної станцій  $L' = 3,2$  м; діаметр натяжного барабана  $D = 0,6$  м; ритм  $r^T = 3$  хв; крок конвеєра  $d = 0,6$  м.

Визначити робочу довжину несучої частини конвеєра  $L_p$ , довжину конвеєра, швидкість руху тримальної частини, розмір пластини конвеєра, кількість транспортних пристроїв.

#### *Розв'язання*

Робоча довжина тримальної частини конвеєра у разі двохрядного розташування робочих місць у шаховому порядку розраховуємо за формулою:

$$L_p = \frac{(k_{\max} + 1) \cdot l}{2},$$

де  $k_{\max}$  – максимальна кількість робочих місць на лінії;

$l$  – відстань між двома сусідніми робочими місцями з одного боку конвеєра;

$$L_p = \frac{(40 + 1) \cdot 1,2}{2} = 24,6 \text{ м.}$$

Довжина конвеєра

$$L_k = L_p + L',$$

де  $L'$  – довжина приводної та натяжної станцій.

$$L_k = 24,6 + 3,2 = 27,8 \text{ м.}$$

Повна довжина тримальної частини:

$$L_n = 2 \cdot L_p + \pi \cdot d,$$

$$L_n = 2 \cdot 24,6 + 3,14 \cdot 0,6 = 51,084 \text{ м.}$$

Швидкість руху тримальної частини безперервно рухомого конвеєра

$$V = \frac{d}{r^T},$$

де  $r^T$  – постійний ритм роботи лінії;

$$V = \frac{0,6}{3} = 0,2 \text{ м/хв.}$$

Розмір пластини конвеєра:

– ширина:

$$a = l_1 + 40,$$

де  $l_1$  – ширина виробу,  $l_1=32$  мм, тоді  $a = 72$  мм;

– довжина ( $b$ ) обирається за умови, що між виробами ціле число пластин, тобто, якщо відстань між виробами – 0,6 м, кількість пластин – 36, а її довжина – 0,2 м (200 мм).

Кількість транспортних пристроїв

$$Q = \frac{L_n}{l} = \frac{51,084}{1,2} = 42,5.$$

Приймаємо  $Q = 43$ .

#### Задача 8

Визначити тип виробництва виробів газового обладнання й трубопровідних систем за коефіцієнтом серійності і такими вихідними даними: програма випуску  $N = 14800$  шт.; кількість операцій у ТП  $k_0 = 21$ ; норма штучного часу  $i$ -ї операції  $T_{шт_i} = 15,4$ ; коефіцієнт виконання норми  $k = 0,76$ ; дійсний річний фонд часу  $\Phi_d = 1823$  год.

#### Розв'язання

Тип виробництва визначають за коефіцієнтом закріплення операцій, що визначається за формулою:

$$k_c = \frac{k_0}{n_p},$$

де  $k_0$  – кількість операцій в ТП;

$n_p$  – кількість робочих місць, необхідних для складання:

$$n_p = \frac{N \cdot \sum_{i=1}^{k_0} T_{шт_i}}{60 \cdot k \cdot \Phi_d},$$

де  $N$  – програма випуску;

$$n_p = \frac{14800 \cdot 15,4 \cdot 21}{60 \cdot 0,76 \cdot 1823} = 57,5 \approx 58 \text{ роб. місць.}$$

Тоді

$$k_c = \frac{21}{58} = 0,36 \approx 1.$$

За умови, що  $k_c \leq 1$  – виробництво масове,  $k_c > 1$  – серійне,  $k_c \gg 1$  – одиничне, робимо висновок: якщо  $k_c = 1$ , то виробництво масове.

#### 4.3.3 Задачі для самостійного розв'язання

##### Задача 1

Визначити час виготовлення партії вузлів виробів газового обладнання і трубопровідних систем, що складається з 1000 шт., у разі паралельного поєднання операцій. Норми часу на кожну операцію подано в таблиці 4.3.

Таблиця 4.3 – Трудомісткість операцій складання виробу

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{шт}, \text{хв}$	2,8	1,4	0,7	0,7	1,4	1,4	3,5	0,7	1,4	1,4

##### Задача 2

Клапан запірний складають на конвеєрі. Змінна програма конвеєра – 198 шт. Трудомісткість складання клапана – 48 хв. Регламентовані зупинки конвеєра для відпочинку робітників – 8 хв., для обслуговування – 12 хв.; відсоток допустимого браку – 1 %; габаритні розміри клапана –  $800 \times 500 \times 300 \text{ мм}^3$ . Робочі місця розташовуються з одного боку конвеєра з кроком 1,2 м. Визначити параметри конвеєра.

##### Задача 3

Вентиль складають на конвеєрі. Змінна програма лінії – 34 шт. Трудомісткість складання вентиля – 5 год. 25 хв. Крок конвеєра – 1,6 м. Регламентовані зупинки лінії для відпочинку робітників – 7 %. Робочі місця розташовані з одного боку конвеєра. Визначити параметри конвеєра.

##### Задача 4

Змінна програма складання вузла виробу газового обладнання й трубопровідних систем на потоковій лінії – 130 шт., трудомісткість складання – 96 хв., габарити пристрою –  $1000 \times 600 \times 500 \text{ мм}$ . Визначити базові характеристики лінії, якщо робочі місця розташовані з двох боків стрічки транспортера в шаховому порядку з кроком 1,5 м; допустимий брак – 2 %; регламентовані зупинки лінії – 20 хв.

### Задача 5

Змінна програма складання вентиля на конвеєрі – 392 шт.; трудомісткість складання – 96 хв.; габарити вентиля – 300×200×30 мм. Визначити базові характеристики конвеєра, якщо робочі місця розташовані з двох боків конвеєра в шаховому порядку з кроком 1,5 м; регламентовані зупинки конвеєра – 20 хв. за зміну; допустимий брак – 2 %.

### Задача 6

Змінна програма складання вентилів на прямотечійній лінії – 200 шт. Дійсний фонд робочого часу за зміну – 400 хв. Норми часу за операціями подано в таблиці 4.4.

Таблиця 4.4 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6
$T_{шт}, \text{хв}$	4,05	7,60	5,40	1,35	0,67	1,46

Розрахувати потреби обладнання за операціями, побудувати план-графік роботи лінії та визначити величини міжопераційних обігових запасів.

### Задача 7

Синхронізувати технологічний процес складання шляхом комбінації операцій і визначити необхідну кількість робітників для складання вентиля на потоковій лінії з тактом 5 хв. Норми часу за операціями подано в таблиці 4.5.

Таблиця 4.5 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{шт}, \text{хв}$	2,2	4,6	1,8	3,0	11,4	2,4	0,6

### Задача 8

Функційний вузол виробу газового обладнання й трубопровідних систем складають на прямотечійній лінії в дві зміни. Добова програма випуску – 260 шт. Норми часу за операціями подано в таблиці 4.6.

Таблиця 4.6 – Трудомісткість операцій складання вузла

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{шт}, \text{хв}$	2,70	2,70	3,25	3,50	0,90	1,02	3,80

Визначити базові параметри лінії та необхідну кількість робітників.

### Задача 9

Визначити величину максимального запасу та кількість змін під час роботи споживальної лінії, якщо живильна лінія працює в одну зміну з тактом 10 хв. Такт споживальної лінії – 21 хв.

### Задача 10

Визначити час, необхідний для виготовлення партії блоків виробів газового обладнання й трубопровідних систем у разі паралельного поєднання операцій, якщо партія блоків складається із 500 шт. і час, що витрачається на кожну операцію, подано в таблиці 4.7.

Таблиця 4.7 – Трудомісткість операцій складання блоків

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{шт, хв}$	4,2	4,2	4,2	5,0	0,8	0,8	0,8	1,6	1,2	1,2

### Задача 11

Визначити час, необхідний для виготовлення партії функційних вузлів виробів газового обладнання й трубопровідних систем, що складається із 800 шт., у разі послідовно-паралельного поєднання операцій; норми часу на кожну операцію подано в таблиці 4.8.

Таблиця 4.8 – Трудомісткість операцій складання вузлів

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$T_{шт, хв}$	0,8	0,8	0,8	9,8	8,0	8,0	0,7	0,7	0,7	0,7

### Задача 12

Вентиль складають на конвеєрі. Змінна програма конвеєра – 198 шт. Трудомісткість складання вентиля – 48 хв. Регламентовані зупинки конвеєра для відпочинку робітників – 8 хв., для обслуговування – 12 хв.; відсоток допустимого браку – 1 %; габаритні розміри вентиля – 800×500×300 мм. Робочі місця розташовуються з одного боку конвеєра з кроком 1,2 м. Визначити розміри конвеєра.

### Задача 13

Клапан запірний складають на конвеєрі. Змінна програма лінії – 34 шт. Трудомісткість складання клапана – 5 год. 25 хв. Крок конвеєра – 1,6 м. Регламентовані зупинки лінії для відпочинку робітників – 7 %. Робочі місця розташовані з одного боку конвеєра. Визначити параметри конвеєра.

#### Задача 14

Синхронізувати технологічний процес складання вентиля шляхом комбінації операцій і визначити необхідну кількість робітників для складання вентиля на потоковій лінії з тактом  $\tau = 5$  хв. Норми часу за операціями подано в таблиці 4.9.

Таблиця 4.9 – Трудомісткість операцій складання вентиля

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{шт}, \text{хв}$	3,2	2,6	1,7	4,3	2,5	3,2	1,9

#### Задача 15

Добова програма випуску функційного блока виробу газового обладнання й трубопровідних систем – 400 шт. Норми часу за операціями подано в таблиці 4.10 [30, 31].

Таблиця 4.10 – Трудомісткість операцій складання блоку

Номер операції	1	2	3	4	5	6	7
$T_{шт}, \text{хв}$	2,2	4,6	1,8	3,0	11,4	2,4	0,6

Складання відбувається на проточній лінії в дві зміни. Період комплектування доробку – 2 год.

### 4.4 Нормативно-технічна документація виробництва і ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем

Під час розроблення нормативно-технічної документації ремонту використовують класифікатори деталей, поверхонь, дефектів і типових технологічних маршрутів, а також методики обґрунтування способів, номенклатури відновлюваних деталей, визначення коефіцієнтів відновлення та повторюваності дефектів. Керуватися при цьому необхідно галузевими стандартами й методиками щодо розроблення нормативно-технічної документації, нормативів і норм ремонту. Державні й галузеві стандарти мають бути визначальними під час розроблення ремонтних креслень, технологічних процесів та іншої конструкторської документації на засоби технологічного оснащення.

Комплект нормативно-технічної документації щодо технологічної підготовки ремонтно-механічного виробництва містить таку документацію: зведені відомості щодо планування номенклатури й обсягів ремонту – відновлення; документи щодо розрахування витрат праці й грошових коштів і планування потреб стосовно матеріально-технічних ресурсів для проведення ремонту газового обладнання й систем. Приблизну номенклатуру нормативно-технічних документів щодо відновлення деталей газового

обладнання подано в таблиці 4.11. У стандарті підприємства щодо приймання й видачі деталей наведено вимоги з очищення, комплектності, контролю припустимих значень дефектів, якості й точності відновлюваних деталей. В окремих розділах викладено вимоги щодо безпеки, правила приймання й контролю відновлюваних деталей, маркування, упакування, транспортування й зберігання, гарантії ремонтно-експлуатаційних підприємств [40, 41].

Таблиця 4.11 – Номенклатура нормативно-технічної документації для відновлення деталей

Найменування документа	Сфера застосування документа		Складання документа
	Виробництва з централізованим відновленням деталей	Відновлення деталей для власних потреб	
Загальні технічні вимоги щодо здавання зношених деталей для відновлення й видачі відновлених деталей	Документ обов'язковий		Галузеві стандарти або стандарти підприємства
Номенклатура відновлюваних деталей (складальних одиниць)	Документ обов'язковий		На певний виріб або групу виробів
Нормативи обсягів відновлення	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	З розрахунку на сто ремонтів або виходячи з наявного парку газового обладнання
Типові норми відновлення деталей	Документ обов'язковий		За певним (або типовим) технологічним процесом
Ціни відновлення деталі	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	
Норми витрат матеріалів на відновлення деталі	Документ обов'язковий		
Нормативи потреб матеріалів, обладнання, пристосувань і інструменту	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	За певним технологічним процесом з розрахунку на одиницю витрат на відновлення деталей
Відомість обладнання й оснастки	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	
Нормативи часу відновлення типових пошкоджень	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	
Нормативи витрат матеріалів на відновлення типових поверхонь	Документ обов'язковий		За способами відновлення з розрахунку на одиницю площі відновлюваної поверхні. Застосовуються для цілей технологічної підготовки виробництва
Нормативи собівартості типових поверхонь	Те саме		
Нормативи потреб обладнання, пристосувань і інструменту для відновлення типових поверхонь	Документ обов'язковий	Документ необов'язковий	

Номенклатура відновлюваних деталей агрегатів складальних одиниць є переліком деталей агрегатів, відновлення яких в умовах певного ремонтно-механічного підприємства технічно можливе та економічно доцільне. Номенклатура оформлюється у вигляді зведених відомостей із зазначенням найменування деталі, її позначення за каталогом та бажаного застосування. На кожну деталь номенклатури розробляють ремонтне креслення та типовий або одиничний технологічний процес відновлення. У разі відновлення деталі за відсутності одиничного технологічного процесу та для особистих потреб рекомендується використовувати типові технологічні процеси відновлення характерних дефектів. Під час проведення ремонту газового обладнання необхідно враховувати дефекти, які є результатом технологічної «спадковості». Дефекти, які виникають унаслідок внутрішніх напружень та зовнішніх навантажень, спричиняють деформацію деталей. Особливо значний негативний ефект спостерігається під час деформації в базових деталях: литих корпусах, зварних конструкціях, магістральних трубопроводах. Розробляючи нормативно-технічну документацію ремонтного виробництва, необхідно враховувати причини, які спричиняють скорочення терміну використання служби відремонтованої чи знову виготовленої деталі або вузла. Такими причинами можуть бути відсутність наявності в технічній документації операції старіння після відбивання, вальцювання, зварювання та іншого виду оброблення з метою ліквідації внутрішніх напружень.

На практиці доведено, що деформації гонків компресора спричиняють їхня вигинання й скручування. Най ефективнішим способом зняття внутрішніх напружень після виправлення є стабілізація – нагрівання деталі до  $400^{\circ}\text{C}$ , унаслідок чого зменшуються остаточні напруження і підвищується стійкість деталі. Рентгенівські дослідження структурних напружень другого порядку стійких зразків сталей 35–60 і У10 після загартовування й відпускання довели, що тиск знижується при  $300\text{--}600^{\circ}\text{C}$ , а вуглецевих – в інтервалі  $350\text{--}450^{\circ}\text{C}$  [3, 50].

Норми часу на відновлення визначаються за допомогою розрахунково-аналітичного методу на підставі застосованих режимів виконання операцій відповідно до технологічних процесів відновлення або за результатами роботи підприємства.

Під час розроблення нормативів собівартості відновлення типових поверхонь для усунення дефекту застосовують типові технологічні процеси, які розробляють для типових поверхонь, нормативи витрачання матеріалів і часу для типових поверхонь.



Нормативи обсягів відновлення для кожної деталі із розрахунку на 100 капітальних ремонтів газового обладнання визначають за формулою:

$$N_{i\epsilon} = 100K_a m, \quad (4.38)$$

де  $K_a$  – коефіцієнт відновлення;

$m$  – кількість деталей цього найменування в агрегаті (обладнання), шт.

Одним з найважливіших завдань технологічної підготовки виробництва є технічне забезпечення проведення відновлювальних робіт відповідно до чинних засад газової промисловості. Визначення матеріальних, фінансових і трудових витрат під час ремонту, а також гарантування екологічної безпеки ремонтних робіт містяться у відповідних галузевих нормативних документах.

Нормативи витрачання технологічних матеріалів, електродів, газів – флюсів лютів та інших допоміжних матеріалів для відновлення визначають за допомогою розрахунково-аналітичного методу з урахуванням товщини покриття, а також втрат на вигар та розбризкування, і здійснюють їх зазвичай власними силами ремонтно-механічного підприємства.

Норми витрачання матеріалів, які використовуються для створення захисних-ізолювальних покриттів або як допоміжні матеріали під час нанесення способом металізації або гальванічного покриття основного матеріалу на деталь, визначають згідно з нормами витрачання основного матеріалу, вказаним в інструкції.

Нормативи потреб щодо обладнання встановлюють або за допомогою розрахунково-аналітичного методу, застосовуючи типові технологічні процеси, або на підставі поопераційних норм часу та планованого дійсного фонду роботи обладнання, або за характерним технологічним процесом на ремонт (рис. 4.2). Відомість на обладнання та оснащення складають для певних деталей згідно з технологічними процесами та оформляють у вигляді таблиць. Їх переплітають та зберігають як керівні документи.

Показники за нормуванням обсягів подано у вигляді комплексу документів із технологічної підготовки виробництва щодо відновлення деталей [40, 41, 45].

Нормативно-керівний документ, у якому відображено технологічний процес ремонтно-відновлювального виробництва, є головним, оскільки на його базі розробляється інша документація.



Рисунок 4.2 – Ілюстрування проведення технологічних ремонтних робіт до визначення технічної оснащеності ремонтно-механічних підприємств

## **4.5 Технологічне оснащення виробництва і ремонту виробів газового обладнання й трубопровідних систем**

### **4.5.1 Порядок розроблення технологічного процесу ремонту й відновлення виробів**

Поверхні відновлення деталей аналогічної геометричної форми із загальними ознаками умов роботи називають типовими. Класифікація типових поверхонь та їхні кодові позначення для машинного оброблення інформації за допомогою засобів вимірювальної техніки під час ремонту систем газопостачання ще розробляється.

На відміну від порядку розроблення технологічних процесів у машинобудуванні, де об'єкт оброблення – деталь зі всіма робочими поверхнями, які необхідно обробити, задається конструктором, під час зіставлення відновлювальної технології спочатку визначають дефекти та їхнє поєднання. На підставі визначених поєднань і їхнього аналізу обирають можливі варіанти маршрутів відновлення (рис. 4.3), за якими спочатку визначають і обґрунтовують спосіб відновлення, а потім, після ознайомлення з технологією заводу-виробника, за цією деталлю та зношуваністю окремих поверхонь обирають бази для оброблення. Тільки після цього складають маршрутно-технологічну карту на кожний маршрут окремо із вказівкою номера й найменування деталі, зазначають зміст маршруту і плану всіх операцій. За кожною операцією вказують обладнання, устаткування, електроди, різальний та вимірювальний інструменти.

Як доповнення до маршрутної карти на кожну операцію складають операційні карти, на яких подають ескізи оброблення з вказівкою баз і способу кріплення. В операційній карті операції диференціюють на переходи і прийоми, наводять розрахункові дані, режими оброблення й по-елементні норми часу.

Після складання карти використовують як технологічні інструкції, називаючи їх інструкційними картами. Вони є відправними документами для технічного нормування.

Маршрутно-технологічна карта, яка використовується для планування і організації ремонтного виробництва й одночасно є інструментальною картою, розробляється на підставі схеми технологічного процесу відновлення деталі або вузла (рис. 4.4).



Рисунок 4.3 – Схема технологічного процесу відновлення шліцевих валів

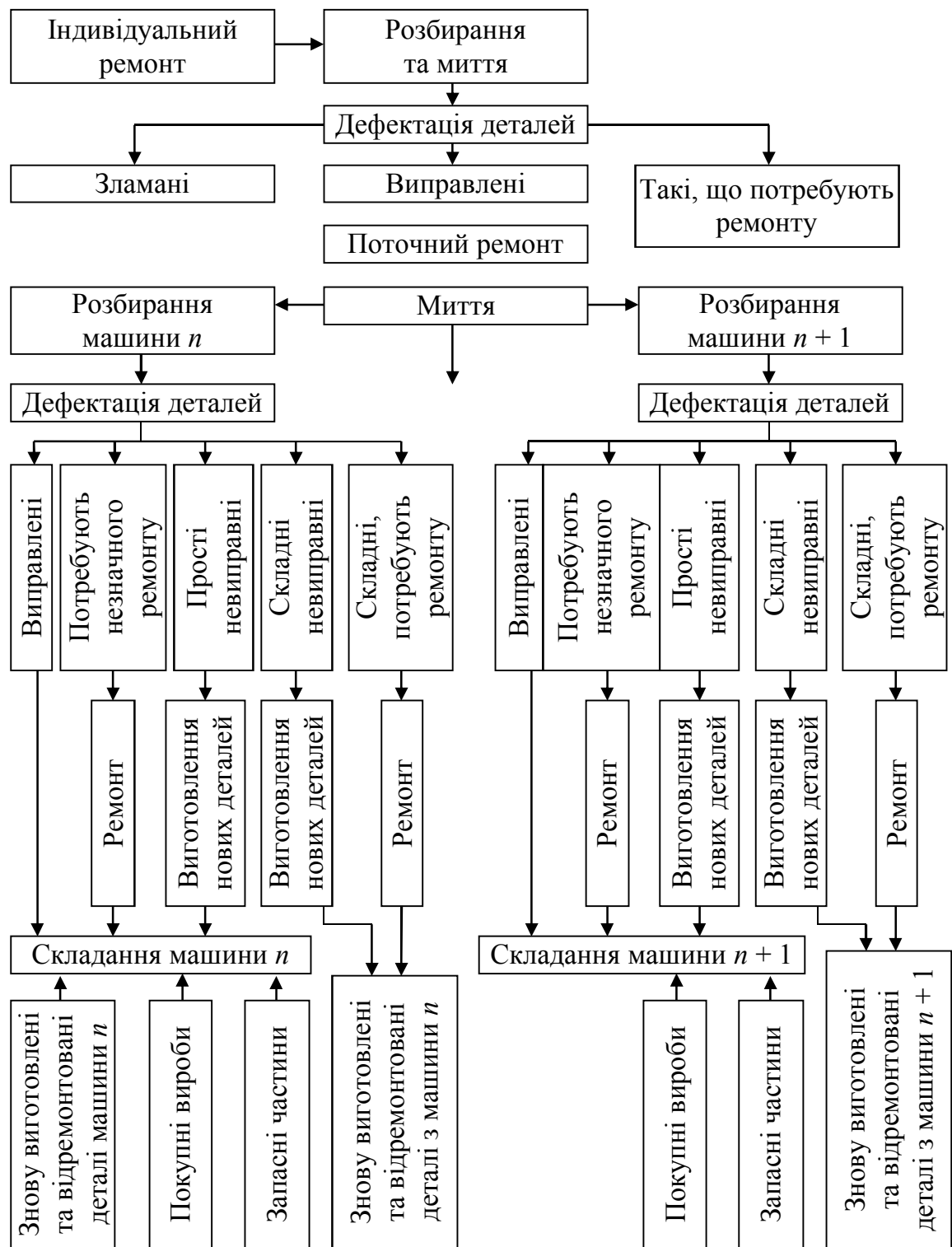


Рисунок 4.4 – Схема технологічного процесу відновлення корпусних деталей компресора

Відомо декілька методів визначення величини партії деталей, які одночасно запускаються у виробництво [50].

Для ремонтних підприємств газових теплоенергетичних господарств найдоцільнішим способом розрахування варто вважати метод, який базується

на вимозі про найбільш ефективне використання обладнання відповідно робочого часу.

Показник ефективності використання обладнання відповідно робочого часу можна визначити за співвідношенням підготовчо-завершального часу до штучного часу на партію:

$$\frac{\sum T_{\text{пз}}}{z \sum T_{\text{шт}}} = K, \quad (4.39)$$

де  $\sum T_{\text{пз}}$  – сума підготовчо-заключного часу на партію за всіма операціями, хв.;

$z$  – кількість деталей в економічно доцільній партії, шт.;

$\sum T_{\text{шт}}$  – сума штучного часу на деталь за всіма операціями, шт.;

$K$  – коефіцієнт, який обумовлюється серійністю виробництва. Для дрібносерійного виробництва  $K = 0,15-0,18$ , для великосерійного –  $K = 0,04-0,05$ .

Після визначення розміру партію записують до маршрутно-технологічної карти і за кожною операцією підраховують штучно-калькуляційний час.

Наприкінці визначають приведений час  $T_{\text{пр}}$ , хв, що припадає на один агрегат вузла системи газопостачання за розглядуваним маршрутом деталі:

$$T_{\text{пр}} = T_{\text{шт к}} n K_{\text{пм}}, \quad (4.40)$$

де  $T_{\text{шт к}}$  – штучно-калькуляційний час на маршрут, хв.;

$n$  – кількість деталей на один агрегат вузла системи газотеплопостачання, шт.;

$K_{\text{пм}}$  – коефіцієнт повторюваності за маршрутом.

Наведений час на один агрегат вузла системи газопостачання необхідний для визначення укрупненої трудомісткості, складання техпромфінплану і в разі проектування ремонтних підприємств газових господарств за укрупненими показниками.

#### 4.5.2 Особливості розроблення типових технологій ремонту виробів

За наявності різноманіття обладнання, яке перебуває на обслуговуванні ремонтно-експлуатаційних підрозділів газоенергетики, складно розробити операційну технологію ремонту. У цих умовах на ремонтно-механічному

підприємстві розробляються типові технологічні процеси, які виконують роль нормативної документації [13, 18, 24].

Класифікація деталей і вузлів газового обладнання, типових технологічних процесів їхнього ремонту дає змогу прискорити розроблення технологічного процесу певного виробу, а також запобігти грубим помилкам. Типовий технологічний процес проведення ремонту наведено в документі, у якому синтезується досвід найкращих та найпрогресивніших ремонтно-механічних підприємств. Однак перехід ремонтного виробництва до роботи за типовими технологіями зазвичай обумовлюється труднощами, які змушують ремонтників відмовлятися від звичних методів роботи.

Головним завданням під час створення типових технологічних процесів є регламентування таких методів і способів проведення ремонтних робіт, які гарантували б отримання необхідної якості за найменших витрат коштів і необхідної безпеки ремонтно-відновлювальних робіт у газовій промисловості. У процесі накопичення нового досвіду техніка й технологічний процес мають удосконалюватися.

Оптимальна послідовність виконання окремих операцій, методи й способи їхнього найбільш раціонального здійснення, застосовувані обладнання й технологічне оснащення, які полегшують виконання певної технологічної операції, гарантують високу якість виконуваних робіт. Короткий зміст технічних умов, наведених в типовій технології, забезпечують отримання заданих параметрів відновлення первинних властивостей ремонтovanого обладнання. Типові технологічні процеси ремонту повинні бути обов'язковими керівними документами для ремонтно-експлуатаційних підприємств газоенергетики. У разі виконання відновлювальних робіт щодо технологічного процесу унаслідок правильно проведених операцій підвищується якість ремонту деталі, вузла, агрегату, системи тощо.

Застосування типових технологічних процесів уможливорює проведення паралельного ремонту окремих вузлів, незважаючи на те, що неузгодженість виконання операцій призведе до неточності загального складання. Виключаються випадки, коли після загального складання агрегату доводиться знову розробляти вузли, щоб ліквідувати встановлені неточності деталей.

У разі необхідності під час технологічного процесу використовують застереження щодо того, як слід потрібно поводитися під час ремонту вузлів і деталей, які за конструкцією відрізняються від наведених в типовому технологічному процесі. Наприклад, у разі значної різноманітності

конструкцій компресорів, арматури, яка експлуатується в певному регіоні й обслуговується ремонтно-механічним підприємством, до технологічного процесу на їхній ремонт додають декілька додаткових карт. У цих картах подаються різні варіанти усунення дефектів. У процесі ремонту газопроводів після відновлення основної частини важливо зберегти системи, оперття, дренаж, захисні та інші пристрої, оскільки їхнє встановлення теж входить в ремонтні роботи.

Дані типових технологічних процесів – основного документа – доповнюються дефектною відомістю, технологічними інструкціями щодо виконання загальних ремонтних операцій (здавання, приймання, випробування, нанесення покриттів тощо). Відомості про загальні ремонтні операції – транспортні, зварювально-монтажні, розбирання (демонтаж, промивання) – повинні відображатися у відповідній технічній документації.

Типовий технологічний процес оформляється, як регламент на ремонт обладнання у вигляді набору карт (табл. 4.11).

Після змісту технологічного процесу подається перелік обладнання й оснащення, яке застосовується під час ремонту.

Для деяких вузлів, деталей, дефектів можуть існувати декілька варіантів відновлення. За таких умов вибір варіанта визначається особливостями зношуваності, зручністю ремонту, наявністю технологічного оснащення ремонтної бази тощо.

Технологічний регламент на ремонт передбачає опис загального вигляду деталі, вузла, агрегату або обладнання і оформляється із дотриманням єдиних вимог технологічної документації. Далі наводяться вимоги, яких потрібно дотримуватися під час проведення ремонтно-відновлювальних робіт, а також зміст (комплектність) регламенту.

На практиці доведено, що раціонального технологічний процес ремонту газового обладнання не повинен містити переліку усіх виконуваних ілюстрованих ескізами операцій. Операції випробувань зазвичай проводяться за технологічною інструкцією.

#### 4.5.3 Основні теоретичні відомості, які використовуються під час технологічного процесу ремонту й відновлення виробів

##### *4.5.3.1 Вимоги точності щодо складання верстатів*

Однією з основних вимог щодо використання складального устаткування є складання виробів у точно з технічними умовами, конструкторською документацією й іншими нормативними документами.



Кінцевим результатом для складальних верстатів, на відміну від металорізальних є складальна одиниця, до складу якої входить певна кількість деталей, розміри яких коливаються в межах допусків. Таким чином, щодо складальних верстатів-автоматів можна сформулювати дві основні вимоги: висока стабільність процесу автоматичного складання і точність виконання складальних операцій.

Загалом стійкість процесу автоматичного складання є технологічною оцінкою перебігу процесу. Під стабільністю автоматичного складання розуміють постійність у часі параметрів розподілу досліджуваної ознаки якості. Стабільний процес є стійким, однак стійкий процес може бути нестабільним.

Стабільність і можливість автоматичного складання можна визначити сумарною похибкою відносної орієнтації складених деталей перед їхнім сполученням, до того ж похибка обумовлюється конструкцією складального верстата-автомата і точністю виготовлення окремих вузлів і деталей, що надходять на складання [31, 32, 36].

Для нормального ходу автоматичного складання необхідно, щоб сумарна похибка відносної орієнтації деталей перед їхнім сполученням не перевищувала допустимих значень. Цю умову можна зобразити так:

$$\Delta\Sigma_{\max} \leq |\Delta_R|, \quad (4.41)$$

де  $\Delta\Sigma_{\max}$  – максимальне значення сумарної похибки відносної орієнтації складених деталей;

$\Delta_R$  – величина, обумовлена видом з'єднання і групою посадки.

Допустима похибка відносної орієнтації складених деталей визначається видом з'єднання і точністю виготовлення з'єднуваних поверхонь. Точність виконання складальної операції визначається похибкою взаємного розташування деталей у складаному вузлі.

Сумарну похибку відносної орієнтації деталей на позиції складання для будь-якого складального автомата можна виразити функцією:

$$\Delta_\Sigma = f(\Delta'_\Sigma, \Delta_\delta, \Delta_{cr}), \quad (4.42)$$

де  $\Delta_\Sigma$  – сумарна похибка відносної орієнтації деталей на позиції складання;

$\Delta'_\Sigma$  – сумарна похибка відносного розташування складального пристрою і складальної головки;

$\Delta_\delta$  – похибка базування деталей на позиції складання;

$\Delta_{cr}$  – похибка розташування робочих частин складальної головки чи пристрою.

Сумарна похибка відносного розташування складального пристрою і складальної головки обумовлюється конструкцією верстата і обраною схемою автоматичного складання. Отже, під час визначення похибки  $\Delta'_\Sigma$  беруть до уваги конструкцію складального верстата.

Похибка базування деталей на позиції складання  $\Delta_\delta$  обумовлюється обраною схемою базування. Під час вибору останньої потрібно враховувати, що коливання розмірів деталі в межах допуску незначно відображається на її розташування. Похибка базування є випадковою.

Похибка виготовлення складальної головки (розташування її робочих частин)  $\Delta_{\text{сг}}$  є похибкою відносного розташування робочих частин пристрою, з яких видаються деталі, що приєднуються до базової. Ця похибка спостерігається у разі, коли здійснюється паралельне чи послідовно-паралельне приєднання до базової деталі.

#### *4.5.3.2 Продуктивність автоматичного технологічного устаткування з числовим програмним керуванням*

Робота будь-якого технологічного автомата характеризується періодичним повторенням основних (робочих) і допоміжних (неробочих) дій у заданій послідовності, тобто повторення робочого циклу. Відповідно до основних положень теорії продуктивності, продуктивним є тільки той час, який витрачається на безпосередню технологічну дію, тобто час робочих ходів. Інший час за цією теорією є втраченим, будуть це неробочі ходи робочого циклу чи позациклові втрати (простоювання) з технічних або організаційних причин.

Період робочого циклу є важливим параметром, що визначає циклову продуктивність устаткування. Циклова продуктивність ( $Q_\Sigma$ ) технологічного автомата визначається кількістю продукції, яку виготовлено на ньому за одиницю часу:

$$Q_\Sigma = 1/T_\Sigma = 1/(t_p + t_x), \quad (4.43)$$

де  $t_p$  – час основних (робочих) ходів щодо формоутворення, складання, монтажу, зварювання, паяння, очищення тощо;

$t_x$  – час допоміжних (неробочих) ходів (подача заготовки чи деталі в робочу зону, переміщення виробу з однієї позиції на іншу, відведення й підведення інструменту, вмикання й вимикання устаткування тощо).

Циклова продуктивність обумовлюється такими факторами, як складність виготовлення виробу, спосіб і режими його виготовлення, ступінь суміщення операцій, швидкість допоміжних рухів і конструктивні особливості їхніх механізмів.

Для автоматів різного технологічного призначення складники  $t_p$  і  $t_k$ , що належать до циклової продуктивності, визначатимуться по-різному, залежно від структури автомата, типу приводу тощо.

Наприклад, для складальних автоматів під час складання вузла виробу газового обладнання й трубопровідних систем виокремлюють такі елементи циклу: переміщення вузла в задану позицію ( $t_{дп}$ ), пошук потрібного елемента виробу ( $t_k$ ), доставлення його в зону дії робочої головки ( $t_{дк}$ ), захоплення елемента виробу робочою головкою й установа його в монтажні отвори ( $t_y$ ), припасування виведень елемента виробу з протилежного боку виробу ( $t_{пр}$ ).

Усі елементи циклу, зазвичай, виконуються послідовно, і тоді

$$Q_{ц} = (t_{дп} + t_k + t_{дк} + t_y + t_{пр})^{-1}. \quad (4.44)$$

Якщо деякі дії поєднуються (наприклад, пошук компонента і його доставлення в зону дії робочої головки можуть бути поєднані з переміщенням плати в задану позицію), тоді

$$Q_{т} = (t_{дп} + t_y + t_{пр})^{-1}. \quad (4.45)$$

Технологічну продуктивність автомата можна визначити за співвідношенням:

$$Q_{т} = 1/t_p. \quad (4.46)$$

В автоматах безперервної дії (за  $t_x = 0$ ), коли час неробочих ходів відсутній, циклова продуктивність дорівнює технологічній, тобто

$$Q_{ц} = Q_{т}, \text{ якщо } t_x = 0. \quad (4.47)$$

Однак циклова продуктивність не є вичерпною характеристикою продуктивності технологічних автоматів. Так, продуктивність протягом тривалого часу, наприклад зміни, залежність ще й від позациклових втрат, тобто спостерігається так звана фактична продуктивність.

Фактична продуктивність визначається за формулою:

$$Q_{\phi} = \left( t_p + t_x + \sum_i^n t_{\text{пц}} \right)^{-1}, \quad (4.48)$$

де  $\sum_i^n t_{\text{пц}}$  – позациклові витрати.

За функційними ознаками всі позациклові втрати (простоювання) технологічних автоматів можна розподілити на п'ять видів:

1. Простоювання через інструмент. Ці простоювання визначаються часом, який простоє устаткування внаслідок непрацездатності інструментів: отримання інструменту, установлення його в робочу головку, змінювання, регулювання й підналагодження.

2. Простоювання через устаткування. Устаткування простоє внаслідок несправності окремих механізмів, їхньої відмови під час роботи, розрегулювання, забруднення тощо. Час простоювання через устаткування включає час на ремонт і регулювання механізмів, заміну спрацьованих деталей і вузлів, очікування налагоджувачів.

3. Простоювання з організаційних причин. Вони виникають тоді, коли устаткування працездатне, але відсутні зовнішні умови для його нормальної експлуатації: немає заготовок, деталей, компонентів, електроенергії, спостерігаються порушення трудової дисципліни обслуговуючим персоналом (несвоєчасний початок роботи, передчасне її завершення й безпідставне залишення робочого місця), прибирання верстатів.

4. Простоювання через брак. Інструмент і механізми працездатні, наявні заготовки, деталі тощо, але результат роботи не відповідає вимогам якості. Хоч устаткування і працює, але придатна продукція не виготовляється, а отже, час, витрачений на випуск бракованої продукції, має бути віднесений до простоювань.

5. Простоювання, обумовлені переналагодженням устаткування на випуск нових виробів. Це час замінювання програмоносіїв, технологічного оснащення, затискних пристроїв [36].

Усі простоювання можна розподілити на власні й організаційно-технічні. Власні простоювання функційно пов'язані з режимом роботи устаткування. Їх рівень визначається конструктивною досконалістю устаткування, його надійністю під час роботи, кваліфікацією робітників. До цього виду належать простоювання через інструмент і устаткування, пов'язані з прибиранням верстата, налагоджувальний брак. Організаційно-технічні простоювання зумовлені зовнішніми причинами (відсутністю

заготовок, деталей, переналагодженням, браком на попередніх операціях, порушенням обслуговуючим персоналом трудової дисципліни).

Що частіше виникають простоювання і що більшою є їхня тривалість, то нижчою є фактична продуктивність технологічного устаткування.

### *Надійність автоматичного технологічного устаткування*

Відповідно до загальних положень теорії надійності, надійність автоматичного технологічного устаткування характеризується можливістю виконувати задані функції, зберігаючи в часі значення встановлених експлуатаційних показників у заданих межах, які відповідають заданим режимам і умовам їхнього використання. Під об'єктами в теорії надійності розуміють будь-які системи чи елементи, що мають певне функційне призначення. У нашому випадку під об'єктом розуміють технологічне устаткування (автомат, напівавтомат, автоматична лінія, гнучкий виробничий модуль тощо).

Для технологічного устаткування заданою функцією є випуск продукції необхідної якості в необхідній кількості. Надійність автоматичного технологічного устаткування – це, насамперед, його здатність до безперебійного випуску придатної продукції в розмірах, обумовлених заданою виробничою програмою, протягом усього терміну їхнього використання.

Що нижчою є надійність автоматичного технологічного устаткування, то вищі втрати продуктивності і більша різниця між фактичною і цикловою продуктивністю. Таким чином, надійність автоматичного технологічного устаткування характеризує ступінь підвищення продуктивності й реалізації потенційних можливостей, наявних у технологічних процесах виготовлення та ремонту виробів.

Надійність автоматичного технологічного устаткування обумовлюється його безвідмовністю, ремонтпридатністю, довговічністю. Будь-який об'єкт (устаткування) може перебувати в одному з двох станів: працездатному й непрацездатному. працездатним називається такий стан автоматичного технологічного устаткування, за якого воно відповідає технічним умовам. Подія, коли порушується працездатність (перехід автоматичного технологічного устаткування з працездатного стану в непрацездатний внаслідок виникнення несправностей), називається відмовою.

Виникнення відмов, їх визначення, усунення й попередження – це випадкові процеси, що відбуваються в часі, тому всі кількісні показники надійності є імовірнісними. Показники надійності можна поділити на дві групи: часткові показники, за якими оцінюється тільки один якісний бік

надійності, наприклад тільки безвідмовність чи тільки ремонтпридатність; і узагальнені (комплексні) показники, за якими оцінюється, наприклад і безвідмовність, і ремонтпридатність.

Безвідмовність є властивістю автоматичного технологічного устаткування зберігати працездатність протягом деякого часу або деякого напрацювання.

Як свідчить практика, тривалість ( $t$ ) безвідмовної роботи автоматичного технологічного устаткування від увімкнення до відмови є величиною випадковою, яка змінюється в дуже широких межах навіть за стабільних умов експлуатації.

За стаціонарних умов експлуатації щільність імовірності безвідмовної роботи зазвичай описується експонентним розподілом:

$$f(t) = \frac{1}{m_{\text{сеп}}} \cdot e^{-\frac{t}{m_{\text{сеп}}}}, \quad (4.49)$$

де  $m_{\text{сеп}}$  – середній час безвідмовної роботи автоматичного технологічного устаткування, год.;

$t$  – тривалість безвідмовної роботи автоматичного технологічного устаткування, год.

Важливим показником безвідмовності є ймовірність ( $P$ ), що автоматичне технологічне устаткування працюватиме без відмов упродовж часу  $t$  після ввімкнення.

Функційна залежність імовірності безвідмовної роботи ( $P$ ) протягом часу  $t$  після пуску від тривалості часу  $t$  називається функцією надійності і позначається  $P(t)$ . Математичний вираз, що найповніше апроксимує статичну функцію надійності, має такий вигляд:

$$P(t) = e^{-\int_0^t \omega(t) dt}, \quad (4.50)$$

де  $\omega(t)$  – параметр потоку відмов, загалом також є величиною, що залежить від часу.

Параметр потоку відмов  $\omega(t)$  є показником безвідмовності, що характеризує частоту відмов під час експлуатації автоматичного технологічного устаткування. Він чисельно дорівнює середньому математичному сподіванню кількості відмов за одиницю часу. Якщо час  $t$  виражений у робочих циклах, величина  $\omega(t)$  означає ймовірність виникнення

відмови у разі кожного спрацьовування механізму, пристрою чи всього автоматичного технологічного устаткування.

Величина, зворотна параметру потоку відмов, є середнім часом безвідмовної роботи чи середнім напрацюванням на відмову:

$$m_{\text{сер}} = 1/\omega . \quad (4.51)$$

Припустимо, що  $\omega = \text{const}$ , тобто параметр потоку відмов є величиною умовно постійною для деякого інтервалу тривалості експлуатації автоматичного технологічного устаткування. Тоді математичний вираз функції надійності можна записати у такому вигляді:

$$P(t)e^{-\omega t} = e^{-t/m_{\text{сер}}} . \quad (4.52)$$

Показники надійності  $P(t)$ ,  $\omega$ ,  $m_{\text{сер}}$  однаковою мірою дають змогу оцінити як надійність спрацьовування, так і технологічну (точну) надійність. Так, для надійності спрацьовування величина  $P_1(t)$  означає імовірність того, що в автоматичному технологічному устаткуванні впродовж часу  $t$  не виникає ніяких неполадок, перекошень, згорянь й інших несправностей механізмів, пристроїв, інструмента тощо. Для технологічної надійності величина  $P_2(t)$  означає імовірність того, що за час  $t$  після розмірного підналагодження чи заміни інструмента не з'явиться жодного бракованого виробу і не знадобиться нове розмірне підналагодження чи заміна інструмента.

Аналогічно величина  $m_{\text{сер}}$  для надійності спрацьовування означає середню кількість циклів між двома неспрацьовуваннями механізму, а для технологічної надійності – середню кількість придатних деталей між двома бракованими чи середню кількість робочих циклів між двома розмірними підналагодженнями.

Комплексними показниками надійності автоматичного технологічного устаткування є власні позациклові втрати  $\sum t_n$  і коефіцієнт технічного використання  $\eta_{\text{тех}}$ , які одночасно є й важливими параметрами теорії продуктивності [30, 36].

Власні позациклові втрати характеризують і безвідмовність, і ремонтпридатність:

$$\sum t_n = \omega \theta_{\text{сер}} / T = \theta_{\text{сер}} / (m_{\text{сер}} \cdot T), \quad (4.53)$$

де  $\omega$  – параметр потоку відмов;

$\theta_{\text{сер}}$  – середній час визначення й усунення відмов, год.;

$T$  – тривалість робочого циклу, год.

Коефіцієнт технічного використання визначають за співвідношенням:

$$\eta_{\text{тех}} = \frac{1}{1 + (\sum t_{\text{в}}/T)} = \frac{1}{1 + (\theta_{\text{сер}}/m_{\text{сер}})} = \frac{1}{1 + \omega_{\text{ц}} \theta_{\text{сер}}}, \quad (4.54)$$

де  $\sum t_{\text{в}}$  – власні позациклові втрати, год.;

$\omega_{\text{ц}}$  – імовірність відмови автоматичного технологічного устаткування на кожному робочому циклі, 1/цикл.

Таким чином, коефіцієнт технічного використання є показником надійності та характеризує і безвідмовність, і ремонтпридатність автоматичного технологічного устаткування в конкретні періоди його експлуатації.

#### 4.5.4 Приклади розв'язання задач

##### Задача 1

Одноканальна система масового обслуговування з відмовами є одним складним агрегатом. Заявлена тримальна базова конструкція (функційний блок), яка надійшла в момент, коли автомат зайнятий, отримує відмову (тобто необхідно знайти інший автомат, робоче місце). Інтенсивність потоку заявок  $\lambda = 2$  (надходження кількості блоків за хвилину). Середній час складання  $\bar{t}_{\text{ск}} = 0,3$  хв Усі потоки подій – найпростіші.

Визначити граничні (за  $t \rightarrow \infty$ ) значення: відносну пропускну здатність  $q$ ; абсолютну пропускну здатність  $A$ ; імовірність відмови  $P_{\text{від}}$ .

Порівняти фактичну пропускну здатність системи масового обслуговування з номінальною, якщо складання кожного вузла тривало рівно 1,3 хв, а блоки надходили безперервно один за одним.

##### Розв'язання

Визначаємо параметр  $\mu$  потоку обслуговування

$$\mu = \frac{1}{t_{\text{ск}}}; \quad \mu = \frac{1}{0,3} = 3,3 \text{ 1/хв}$$

Відносна пропускну здатність

$$q = \frac{\mu}{\lambda + \mu}; \quad q = \frac{3,3}{2 + 3,3} = 0,62 \text{ 1/хв}$$



Абсолютна пропускна здатність

$$A = \lambda q; \quad A = 2 \cdot 0,62 = 1,24.$$

Імовірність відмови

$$P_{\text{від}} = 1 - q; \quad P_{\text{від}} = 10,62 = 0,38.$$

Номінальна пропускна здатність

$$A_{\text{ном}} = \frac{1}{t_{\text{ск}}}; \quad A_{\text{ном}} = \frac{1}{0,33} = 3,31 \text{ 1/хв.}$$

### *Аналіз результатів*

Виконані розрахунки дають змогу зробити такі висновки: за встановленого режиму система складання обслуговуватиме приблизно 62 % виробів, що надходять на складання; автомат здатний обслуговувати в середньому 1,24 виробів за хвилину; приблизно 38 % виробів, що надходять, отримують відмову; номінальна пропускна здатність (3,3 1/хв) перевищує за значенням фактичну пропускну здатність, отриману з урахуванням випадковості потоку заявок і ймовірності часу обслуговування [32, 36].

### *Задача 2*

Визначити час пересування алюмінієвої заготовки виробу газового обладнання й трубопровідних систем на транспортер автоматичної лінії з висоти 1,1 м по сталевому лотку-склізу, встановленому під кутом  $37^{\circ}$  до горизонту. Лоток і заготовка мають симетричний кутовий переріз у нормальній площині, кут якого становить  $130^{\circ}$ .

### *Розв'язання*

Визначаємо приведений коефіцієнт тертя під час ковзання заготовки по лотку:

$$f' = \frac{f}{\sin \beta} = \frac{0,605}{\sin 65^{\circ}} = \frac{0,605}{0,906} = 0,668,$$

де  $f$  – коефіцієнт тертя заготовки по лотку, дорівнює 1,1;

$\beta$  – половина кута кутового перерізу.

Знаходимо довжину пересування вздовж лотка:

$$L = \frac{H}{\sin \alpha} = \frac{1,1}{0,601} = 1,850 \text{ м,}$$

де  $H$  – висота, з якої просувається заготовка;

$\alpha$  – кут нахилу лотка до горизонту.

Встановлюємо значення коефіцієнта запасу, що враховує тертя заготовки об стінку лотка, а також додатковий час, необхідний для заспокоєння (зазвичай, обирають у межах  $K = 1,5 - 2$ ); приймаємо  $K = 1,5$ .

Визначимо час пересування заготовки по лотку за формулою:

$$t = K \sqrt{\frac{2L}{g(\sin \alpha - f' \cos \alpha)}},$$

де  $g$  – прискорення вільного падіння.

Підставимо отримані значення у вираз:

$$t = 1,5 \sqrt{\frac{2 \cdot 1,85}{9,81(0,601 - 0,668 \cdot 0,797)}} = 3,35 \text{ с.}$$

### Задача 3

Автоматична лінія складається з трьох ділень. Власні позациклові втрати ділень становлять 13, 12 і 10,8 с/шт. відповідно. Коефіцієнт накладення позациклових втрат другої ділянки на першу, випускову – 0,18, третьої на випускову – 0,2. Період робочого циклу випускової ділянки – 150 с.

Визначити коефіцієнт використання та фактичну продуктивність автоматичної лінії складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем.

### Розв'язання

Позациклові втрати ділень відносно одиниці часу безвідмовної роботи становлять:

$$B_1 = \frac{\sum_{i=1}^n t_1}{T_{\text{ц}}} = \frac{13}{150} = 0,087; B_2 = \frac{\sum_{i=1}^n t_2}{T_{\text{ц}}} = \frac{12}{150} = 0,08; B_3 = \frac{\sum_{i=1}^n t_3}{T_{\text{ц}}} = \frac{10,8}{150} = 0,072.$$

Коефіцієнт використання автоматичної лінії визначаємо за формулою:

$$\eta_{\text{а.л}} = \frac{1}{1 + 0,087 + 0,08 \cdot 0,18 + 0,072 \cdot 0,02} = 0,89.$$

#### 4.5.5 Задачі для самостійного розв'язання

##### Задача 1

Визначити загальну кількість одиниць газового обладнання в потоковій лінії виготовлення виробів трубопровідних систем за такими вихідними даними:  $t_i = 30,5$  хв. – штучний час виготовлення  $i$ -го виробу;  $n = 3000$  шт. – кількість виробів, виготовлених за рік;  $F = 1000$  год. – дійсний річний фонд часу роботи одиниці обладнання;  $K = 12$  – кількість операцій у технологічному процесі.

##### Задача 2

Визначити показник відносної трудомісткості ( $K_{\text{від}}$ ) технологічного процесу виготовлення виробів газового обладнання і трубопровідних систем за такими вихідними даними:  $t_{\text{шт.}i} = 2,5$  хв. – штучний час  $i$ -ї операції;  $K_0 = 15$  – кількість операцій у технологічному процесі;  $K_v = 0,7$  – коефіцієнт виконання норм;  $N = 1000$  – обсяг випуску виробів протягом планового періоду;  $F = 175$  год. – місячний фонд часу роботи обладнання.

Перевірити умови:  $0 \leq K_{\text{від}} \leq 10$ .

##### Задача 3

Вибрати конструкцію кишенькового накопичувача для автоматичної подачі сталевих заготовок типу циліндра з конусом на кінці: довжина  $l = 1,2 \cdot 10^{-2}$  м; діаметр  $d = 4 \cdot 10^{-3}$  м; довжина конусної частини  $l_1 = 3 \cdot 10^{-3}$  м; орієнтацію заготовки здійснюють конусним кінцем уперед.

##### Задача 4

Визначити середній час безвідмовної роботи автоматичної лінії складання виробів, якщо середній час визначення й усунення відмов – 240 с, сумарні позациклові втрати – 1,5 с/шт., а циклова продуктивність – 0,033 шт./с.

#### 4.6 Технологія виготовлення деталей і конструкцій виробів газового обладнання й трубопровідних систем

Одним з основних завдань виробництва в механічних цехах є забезпечення необхідної точності виготовлення деталей. Параметри реальних деталей, виготовлених шляхом механічної обробки, відрізняються від ідеальних значень, тобто мають похибки, але розміри похибок не повинні

перевишувати допустимих граничних відхилень (допусків). Для забезпечення заданої точності оброблення необхідно правильно спроектувати технологічний процес, урахувавши економічну точності, якої досягають за допомогою різних методів оброблення. Важливо врахувати, що кожен наступний перехід підвищує точність на 1–4 квалітети.

У деяких випадках для визначення можливої величини похибки оброблення використовують розрахункові методи. Так визначають похибки токарного оброблення під дією сил різання, що виникають унаслідок недостатньої жорсткості технологічної системи. В інших випадках аналізують точність оброблення партії деталей за допомогою методів математичної статистики.

Поверхні деталей, отримані шляхом лиття, кування, оброблені за допомогою металорізальних верстатів та іншими способами, характеризуються за шорсткістю, кольором і фізичними властивостями поверхневого шару, тобто за ступенем зміцнення (наклепування), глибиною зміцненого шару, наявністю залишкових напруг унаслідок оброблення тощо. Ці показники визначають стан поверхні та характеризують її якість. Методи оброблення і якість обробленої поверхні взаємопов'язані.

Оптимальнішим для оцінювання шорсткості поверхонь є параметр  $R_a$ ; іноді застосовують  $R_v$ .

Параметри шорсткості поверхонь для різних видів оброблення заготовок за допомогою різання наводяться в технологічних та інших довідниках.

У процесі виконання механічної обробки поверхні шорсткість її зменшується спочатку різко (після чорнових переходів параметри знижуються в 4–5 разів), потім, під час виконання завершальних обробних переходів, у 1,5–2 рази повільніше.

Для того щоб обробити заготовку на верстаті, її необхідно закріпити на ньому, попередньо обравши бази. Під базуванням розуміють розміщення заготовки в необхідному положенні відносно верстата й інструмента. Від правильності базування залежить точність оброблення. Під час розроблення схеми базування вирішують питання про вибір і розташування опорних точок.

У виробничих умовах завжди спостерігаються похибки обробки  $\varepsilon_{уст}$ , що обумовлюються умовами установа, тобто базування ( $\varepsilon_{баз}$ ), закріплення ( $\varepsilon_{закр}$ ) заготовки і неточністю устаткування ( $\varepsilon_y$ ). Похибка установа визначається за формулою:

$$\varepsilon_{уст} = \sqrt{\varepsilon_{баз}^2 + \varepsilon_{закр}^2 + \varepsilon_y^2}. \quad (4.55)$$

Для мінімізації цих похибок необхідно дотримуватися правил базування: «шести точок», «постійності баз», «суміщення баз» тощо.

Значення похибки можна визначити за допомогою різних методів. Табличний метод дозволяє визначити похибки установки залежно від виробничих умов. Розрахунковий метод визначення похибок базування, похибок закріплення та похибок, спричинених неточністю устаткування, виконується за допомогою формул.

У разі недотримання правила «суміщення баз» виникає необхідність перерахувати конструкторські розміри на технологічні (рис. 4.5). Метою перерахування є визначення похибки розміру замикальної ланки та порівнянні її з допуском конструкторського розміру.

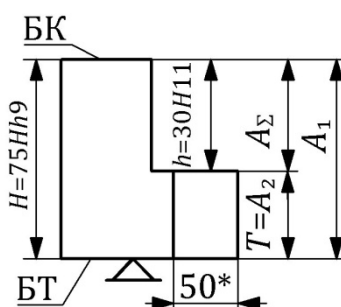


Рисунок 4.5 – Визначення конструкторських та технологічних баз

Розрахування розмірних ланцюгів відповідно до ГОСТ 16319-80 і ГОСТ 6320-80 проводиться за допомогою одного із зазначених у них методів («максимум – мінімум», імовірнісним тощо). Під час здійснення цих розрахунків використовують формули визначення номінального розміру замикальної ланки [31, 48]:

$$H_{\text{ном}} = H - T, \quad (4.56)$$

де  $H$  – розмір, що поєднує конструкторську й технологічну бази;

$T$  – розмір, що поєднує технологічну базу з оброблюваною поверхнею.

Похибка розміру замикальної ланки  $\varepsilon_h = \varepsilon_{\Delta}$  під час розв’язання за допомогою методу «максимуму – мінімуму» визначається за формулою:

$$\varepsilon_h = T_H + T_T; \quad \varepsilon_h = T_{\Sigma} = \sum_1^{m+n} T_i, \quad (4.57)$$

де  $T_i$  – допуск на розмір кожної ланки ланцюга;

$T_H$  – допуск на розмір  $H$ , що встановлюється за кресленням;

$T_T$  – допуск на технологічний розмір, значення якого обумовлюється методом оброблення і встановлюється відповідно до нормативів середньої економічної точності оброблення.

Під час розрахування за допомогою імовірнісного методу використовують такі формули:

$$T_{\Sigma} = \theta \sum_i^{m+n} T_i ; \quad (4.58)$$

$$T_{\Sigma} = \frac{K_c \sum T_i}{\sqrt{m+n}}, \quad (4.59)$$

$$T_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_1^{m+n} (T'_i)^2} \quad (4.60)$$

де  $\theta$  – коефіцієнт, що обумовлюється кількістю складників ланок;

$K_c$  – середнє значення похибок за законом нормального розподілу;

$T'_i$  – половина поля допуску ланок ланцюга.

Як наслідок має дотримуватися умова:

$$T_h \geq T_{\Sigma}. \quad (4.61)$$

Технологічність – найважливіша технічна умова, що передбачає використання конструкторських і технологічних резервів для виконання завдань щодо підвищення техніко-економічних показників виготовлення та якості виробів. Технологічність необхідно підвищувати на всіх стадіях проектування й освоєння під час виготовлення виробів.

Технологічність конструкції деталей обумовлюється:

- раціональним вибором вихідних заготовок матеріалів;
- технологічністю форми деталі;
- раціональною підстановкою розмірів;
- призначенням оптимальної точності розмірів, форми та взаємного розташування поверхонь, параметрів шорсткості й технічних вимог.

Технологічність деталі обумовлюється типом виробництва, обраним технологічним процесом, обладнанням і оснащенням, організацією виробництва, а також умовами використання деталі і складальної одиниці у виробі й умовами ремонту усього виробу.

Ознаками технологічності конструкції деталі, наприклад підкласу валів, є наявність у східчастих валах невеликого перепаду діаметрів східців, розташування східчастих поверхонь зі спаданням діаметра від середини або від одного з кінців, доступність усіх оброблюваних поверхонь для механічної оброблення, можливість застосувати для виготовлення деталі вихідної заготовки прогресивного виду, яка за формою та розмірами подібна до

форми та розмірів готової деталі, можливість застосувати під час оброблення найтехнологічніші методи.

Під час розгляду елементарної поверхні вихідної заготовки та відповідної поверхні готової деталі загальний припуск на механічне оброблення визначається шляхом порівняння їхніх розмірів: це різниця розмірів відповідної поверхні на вихідній заготовці та готовій деталі. Під час розгляду зовнішньої поверхні обертання (рис. 4.6, *а*) загальний припуск

$$2\Pi_{\text{заг}d} = d_0 - d_d; \quad (4.62)$$

у внутрішній поверхні обертання (рис. 4.6, *б*) загальний припуск

$$2\Pi_{\text{заг}D} = D_d - D_0; \quad (4.63)$$

у плоскій поверхні (рис. 4.6, *в*) загальний припуск на сторону

$$2\Pi_{\text{заг}h} = dh_0 - h_d, \quad (4.64)$$

де  $d_0$ ,  $D_0$ ,  $h_0$  – розміри вихідної заготовки;

$d_d$ ,  $D_d$ ,  $h_d$  – відповідні розміри готової деталі;

$2\Pi_{\text{заг}d}$  та  $2\Pi_{\text{заг}D}$  – загальні припуски на діаметр зовнішньої поверхні й отвору;

$2\Pi_{\text{заг}h}$  – загальний припуск на сторону (торчак, площина).

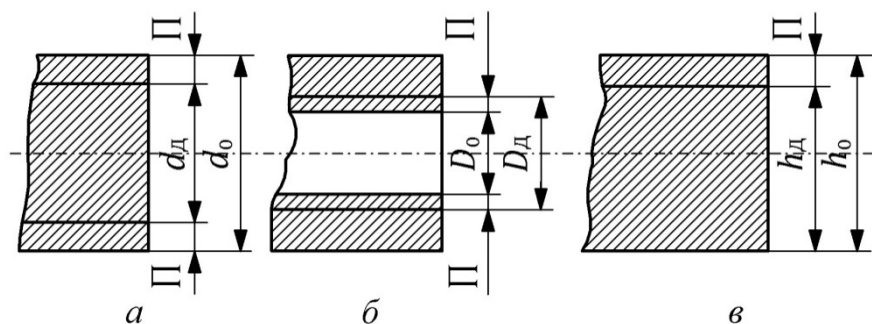


Рисунок 4.6 – Загальне припускання на механічне оброблення:  
*а* – зовнішня поверхня обертання; *б* – внутрішня поверхня обертання;  
*в* – плоска поверхня

Припуск на механічне оброблення видається зазвичай послідовно за декілька переходів, тому для поверхонь обертань і для плоских поверхонь

$$2\Pi_{\text{загд}} = \sum 2\Pi_i; \quad 2\Pi_{\text{загD}} = \sum 2\Pi_i; \quad 2\Pi_{\text{загh}} = \sum 2\Pi_i, \quad (4.65)$$

де  $\Pi_i$  – проміжні припуски, що виконуються протягом  $i$ -го переходу, причому на кожному наступному переході розмір проміжного припуску менший, ніж на попередньому, а з кожним наступним переходом підвищується точність і зменшується шорсткість оброблюваної поверхні.

Під час проектування технологічних процесів оброблення деталей важливо визначити процеси механічного оброблення деталей і встановити оптимальний перехід проміжного припуску, після чого обрати дуже важливі в технології оброблення деталі параметри – проміжні розміри заготовки, що вказані в технологічній документації, відповідно до яких виконавці добирають різальні й вимірювальні інструменти [7, 32].

Проміжні припуски на кожен перехід можна встановити за допомогою двох методів:

1) дослідно-статистичного, використовуючи таблиці технологічних довідників, відомих керівних технологічних матеріалів й інших джерел. У цих джерелах відсутні таблиці для визначення операційних припусків на перший чорновий перехід. Його визначають за формулою:

$$\Pi_1 = \Pi_{\text{заг}} - (\Pi_2 + \Pi_3 + \dots + \Pi_n), \quad (4.66)$$

де  $\Pi_{\text{заг}}$  – загальний припуск на механічне оброблення, встановлений під час проектування заготовки;

$\Pi_1, \Pi_2, \Pi_3, \dots, \Pi_n$  – проміжні припуски на 1-й, 2-й, ...,  $n$ -й переходи відповідно;

2) розрахунково-аналітичного, за спеціальними формулами з урахуванням багатьох факторів оброблення. Під час розрахунку за цим методом операційні припуски завжди менші, ніж обрані за таблицями, що дає змогу зекономити метал і знизити собівартість оброблення. Цей метод використовують під час проектування технологічних процесів оброблення деталей з великим річним обсягом випуску. У технологічній документації і в практиці оброблення використовують проміжні номінальні розміри з допустимими відхиленнями. Як видно зі схеми (рис. 4.7), номінальні проміжні розміри обумовлюються номінальними припусками, які визначають за формулою:

$$\Pi_{\text{ном}_i} = \Pi_{\text{ном}_{i-1}} + T_{i-1}, \quad (4.67)$$

де  $T_{i-1}$  – допуск на проміжний розмір на попередньому переході.



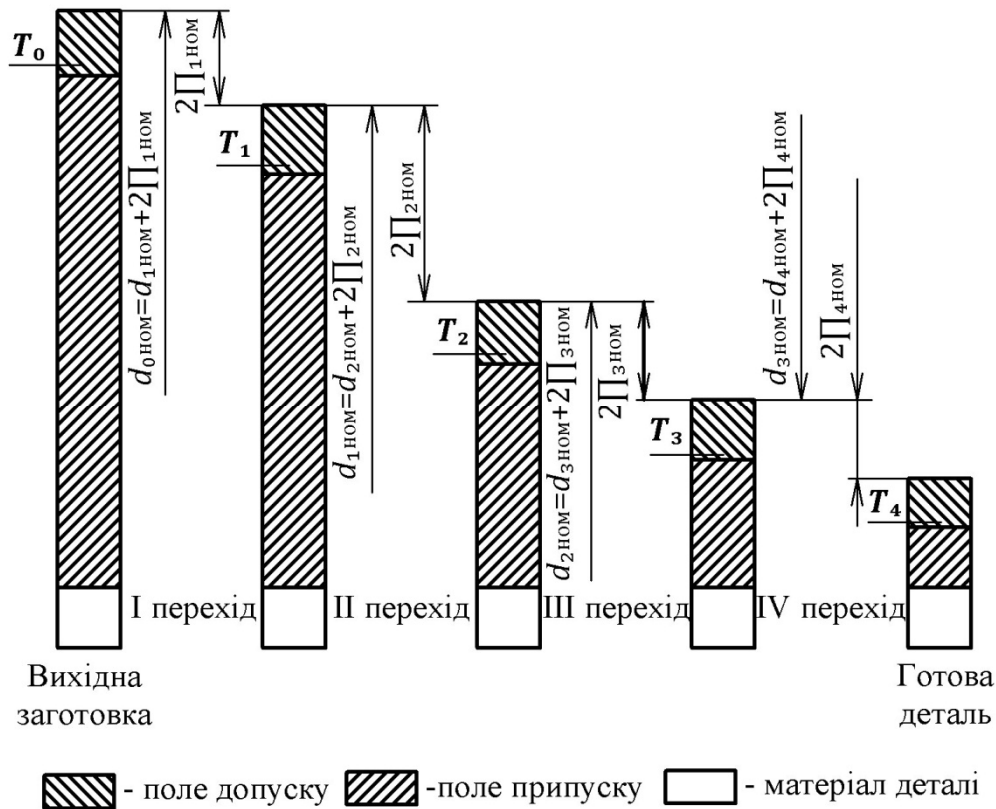


Рисунок 4.7 – Розташування припусків і допусків при механічній обробці

Для різних поверхонь використовують такі формули:

– для поверхонь обертання, окрім випадку оброблення в центрах:

$$2\Pi_{\text{НОМ}_s} = 2\left(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \sqrt{\zeta_{i-1}^2 + \varepsilon_i^2}\right) + T_{i-1}; \quad (4.68)$$

– для поверхонь обертання у разі обробки в центрах:

$$2\Pi_{\text{НОМ}_i} = 2\left(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \zeta_{i-1}\right) + T_{i-1}; \quad (4.69)$$

– для плоских поверхонь:

$$\Pi_{\text{НОМ}_i} = R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \zeta_{i-1} + \varepsilon_i + T_{i-1}; \quad (4.70)$$

– для двох протилежних плоских поверхонь у разі одночасного їхнього оброблення:

$$2\Pi_{\text{НОМ}_i} = 2\left(R_{z_{i-1}} + T_{\text{деф}_{i-1}} + \zeta_{i-1} + \varepsilon_i\right) + T_{i-1}, \quad (4.71)$$

де  $R_{z_{i-1}}$  – висота мікронерівностей на поверхні після попереднього переходу;

$T_{\text{деф}_{i-1}}$  – товщина (глибина) дефектного шару, отримана на попередньому суміжному переході, наприклад, ливарна корка,

зневуглецьований або наклепаний шар (цей складник не береться до уваги для чавунних деталей, починаючи з другого переходу, та для деталей після термообробки);

$\zeta_{i-1}$  – сумарне значення просторових відхилень взаємопов’язаних поверхонь від правильної форми (викривлення, ексцентричність тощо), що залишилися після виконання попереднього переходу (сумарне значення просторових відхилень зменшується з кожним наступним переходом:  $\zeta_1 = 0,06\zeta_0$ ;  $\zeta_2 = 0,05\zeta_1$ ;  $\zeta_3 = 0,04\zeta_2$ . У разі нежорсткого закріплення заготовок або інструмента, наприклад у держачах, що хитаються або плавають,  $\zeta_{i-1} = 0$ );

$\varepsilon_i$  – похибка встановлення заготовки на верстаті під час виконання переходу, що розглядається:

$$\varepsilon = \sqrt{\varepsilon_{\text{баз}}^2 + \varepsilon_{\text{закр}}^2 + \varepsilon_{\text{присос}}^2}, \quad (4.72)$$

де  $\varepsilon_{\text{баз}}$ ,  $\varepsilon_{\text{закр}}$ ,  $\varepsilon_{\text{присос}}$  – відповідно похибки базування, закріплення та пристосування (якщо встановлено в центрах  $\varepsilon_i=0$ , під час оброблення на багатьох позиційних операціях у разі зміни позиції враховують похибки індексації  $\varepsilon_{\text{інд}} = 50$  мкм за формулою  $\varepsilon_i = 0,06 \varepsilon_{i-1} + \varepsilon_{\text{інд}}$ );

$T_{i-1}$  – допуск на проміжний розмір (у разі визначення припуску на перший чорновий перехід для зовнішніх поверхонь береться до уваги тільки мінусова його частина  $T_0^-$ , а для внутрішніх поверхонь – плюсова частина  $T_0^+$  допуску вихідної заготовки).

Вихідним розрахунковим розміром вважається найбільший граничний розмір готової поверхні. Проміжні розміри округлюються в бік збільшення проміжного припуску до того самого знака, що й допуск цього розміру.

Проміжні припуски і розміри для внутрішніх поверхонь розраховуються зважаючи на:

- допуски проміжних (міжопераційних) розмірів встановлюються за системою отвору з полем допуску  $H$  відповідного квалітету;
- номінальні розміри та номінальні припуски на всіх переходах, окрім першого, обумовлюються залежністю:

$$\Pi_{\text{ном}_i} = \Pi_{\text{min}_i} + T_{i-1}, \quad (4.73)$$

а номінальний припуск для першого (чорнового) переходу визначається за формулою:

$$\Pi_{\text{ном}_1} = \Pi_{\text{min}_1} + T_0^+, \quad (4.74)$$

де  $T_0^+$  – плюсова частина допуску заготовок;

– проміжні розміри визначають в порядку, зворотному до виконання технологічного процесу (від розміру готового отвору до розміру заготовки) шляхом віднімання від найменшого граничного розміру готового отвору (вихідного розміру) припусків  $\Pi_{\text{ном}_3}$ ,  $\Pi_{\text{ном}_2}$ ,  $\Pi_{\text{ном}_1}$ . Допуски їх встановлюють за системою отвору з полем допуску  $H$ ;

– за вихідний розрахунковий розмір обирають найменший граничний розмір готового отвору.

Схему полів допусків зовнішньої поверхні деталі, заготовок на всіх етапах оброблення й вихідної заготовки і полів припусків (загального й проміжного) наведено на рисунку 4.8 [18, 32, 36].

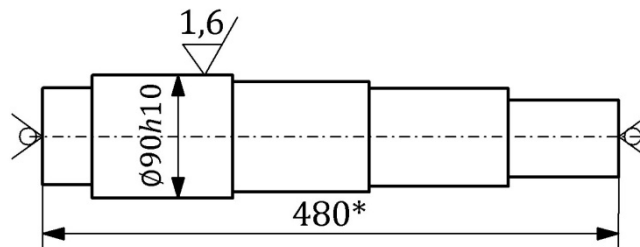


Рисунок 4.8 – Схема полів допусків зовнішньої поверхні деталі за умов механічного оброблення

#### 4.6.1 Приклади розв'язання задач

##### Задача 1

Деталь (втулку) виготовляють в умовах серійного виробництва з гаряче вальцьованого прокату, розрізаного на штучні заготовки. Усі поверхні оброблюються одноразово. Токарна операція виконується згідно з двома операційними ескізами за установленнями (рис. 4.9).

Необхідно проаналізувати операційні ескізи й інші вихідні дані; визначити зміст операції та сформулювати її найменування й зміст; встановити послідовність оброблення заготовок у цій операції; описати зміст операцій за переходами.

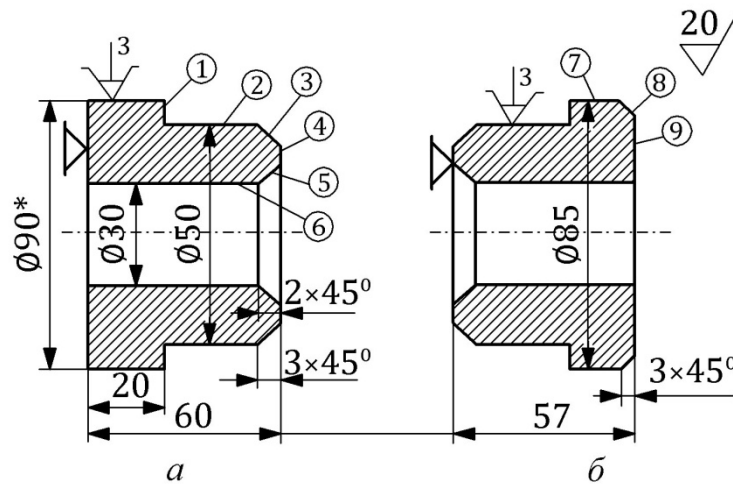


Рисунок 4.9 – Схема токарного оброблення деталі:  
*a* – установа А; *б* – установа Б

#### Розв'язання

Аналізуючи вихідні дані, встановлюємо, що в розглядуваній операції, яка складається з двох установлень, виконується обробка дев'яти поверхонь заготовки, для чого потрібно послідовно виконати дев'ять технологічних переходів.

Для виконання операції буде використаний токарний або токарно-гвинторізний верстат, і найменування операції «Токарна» або «Токарно-гвинторізна» (ГОСТ 3.1702-79). За цим же ГОСТом визначаємо номер групи операції (14) та номер операції (63).

За наявності операційних ескізів для запису змісту операції може бути використана скорочена форма запису: «Підрізати три торчаки», «Сточити дві циліндричні поверхні», «Просвердлити та розточити отвір», «Розточити одну і сточити дві фаски».

Встановлюємо раціональну послідовність виконання технологічних переходів за установленнями, керуючись операційними ескізами. У першому установленні необхідно підрізати торчак 4, сточити поверхню 2 з утворенням торчака 1, сточити фаску 3, просвердлити отвір 6 та розточити фаску 5. У другому установленні необхідно підрізати торчак 9, сточити поверхню 7 і фаску 8.

Зміст операції в технологічній документації записується за переходами: технологічним (далі – ПТ) і допоміжним (далі – ПД). Зміст переходів формулюють у скороченому вигляді (табл. 4.12).

Таблиця 4.12 – Види та зміст переходів

Номер переходу	Вид переходу	Зміст переходу
1	ПД	Установити та закріпити заготовку
2	ПТ	Підрізати торчак 4
3	ПТ	Сточити поверхню 2 з утворенням торчака 1 (під час точіння поверхні 2 виконується два робочих ходи)
4	ПТ	Точити фаску 3
5	ПТ	Просвердлити отвір 6
6	ПТ	Розточити фаску 5
7	ПД	Переустановити заготовку
8	ПТ	Підрізати торчак 9
9	ПТ	Сточити поверхню 7
10	ПТ	Контроль розмірів деталі
11	ПД	Контроль розмірів деталі
12	ПД	Зняти деталь і покласти в тару

### Задача 2

Поверхня східця сталевого вала завдовжки 480 мм, що виготовляється з вивокка, попередньо обробляється на токарному верстаті до діаметра 91,2 мм (рис. 4.10).

Визначити економічну точність оброблення розміру 91,2; квалітет точності оброблюваної поверхні і її шорсткість.

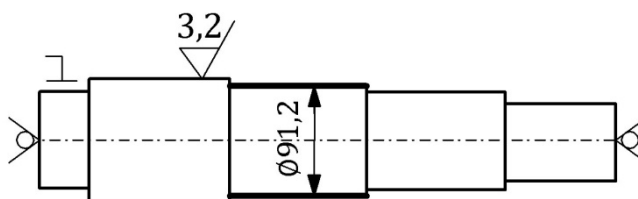


Рисунок 4.10 – Ескіз вала сталевого

### Розв'язання

Для визначення економічної точності використовують таблиці «Економічна точність механічної обробки», наведені у довідниках.

У нашому випадку після чорнового обточування обробленої поверхні вона має перебувати в межах 12–14 квалітету (приймаємо 13 квалітет).

$$l/d = 5,3,$$

З урахуванням умови похибки оброблення зростають у 1,5 – 1,6 рази, що співвідносяться зі зниженням точності на один квалітет. Остаточню приймаємо точність за 14 квалітетом.

Оскільки у разі чорнового обточування розмір заготовки є проміжним, він встановлюється для зовнішньої поверхні з полем допуску базової деталі із діаметрами  $91,2h14$  або  $91,2_{-0,37}$ . Шорсткість поверхні –  $R_a = 20 - 40$  мкм (у практиці заводів за якісно виконаних заготовок і нормальних виробничих умов досягається вища точність оброблення).

### Задача 3

На зовнішній поверхні вала (рис. 4.11) задано допуск форми. Остаточню обробити цю поверхню передбачається шляхом шліфування на круглошліфувальному верстаті моделі 3М151.

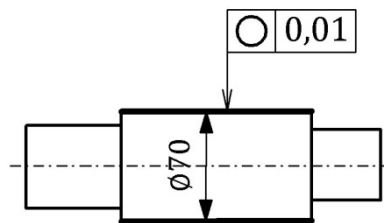


Рисунок 4.11 – Ескіз вала

Необхідно встановити найменування й зміст умовного позначення вказаного відхилення; встановити можливість дотримання точності форми цієї поверхні в разі передбачуваного оброблення.

### Розв'язання

За поданим ескізом точність форми циліндричної поверхні виражається допуском круглості та становить 10 мкм. Згідно з ГОСТ 24643-81, цей допуск співвідноситься з шостим ступенем точності форми. Під терміном «допуск круглості» розуміють найбільше припустиме значення відхилення щодо круглості. Частковими видами відхилення круглості є овальність, гранкування тощо.

На круглошліфувальному верстаті моделі 3М151 можна обробляти заготовки із найбільшим діаметром – до 200 мм, і 700 мм завдовжки. Отже, він придатний для оброблення цієї заготовки. Відхилення від круглості під час оброблення на цьому верстаті становить 2,5 мкм, тому виконати оброблення із заданою точністю можливо.

#### Задача 4

На горизонтально-фрезерному верстаті, що працює відповідно до мети настроювання, начисто обробляється певна площа. При цьому необхідно витримати координуючий розмір  $h = (70 \pm 0,05)$  мм (рис. 4.12). Допуск розміру  $h$  дорівнює  $T_h$ , що становить 0,1 мм.



Рисунок 4.12 – Ескіз деталі

Необхідно встановити, чи буде під час оброблення витримана задана точність розміру.

#### Розв'язання

З умови та з операційного ескізу зрозуміло, що технологічною базою обрано нижню площину  $A$  заготовки. Конструкторською та вимірювальною базами для контролю розміру  $h$  є верхня площина  $B$ . З огляду на те, що бази не збігаються, виникає потреба перерахувати конструктивні розміри на технологічні.

До того ж необхідно розрахувати похибку  $\varepsilon_h$ , із якою можна виконати розмір  $h$ , і порівняти її з допуском  $T_h$  цього розміру. Необхідно витримати умову  $\varepsilon_h \leq T_h$ .

Розглядуваний розмірний ланцюг є лінійним і складається з трьох ланок: розмір  $h = 70$  мм вважатимемо завершальною ланкою  $A$ ; перший складальний ланцюг – розмір  $A_1 = 85h8(85_{-0,05})$  між раніше обробленими площинами є збільшувальним ланцюгом; друга складальна ланка – розмір  $A_2$  є технологічним, зменшувальним, а його точність обумовлюється нормами економічної точності оброблення на верстатах. Для цього прикладу похибка розміру становить 0,06 мм.

Номінальні розміри усього ланцюга визначаються за рівнянням:

$$A_\Sigma = A_1 - A_2; \quad A_\Sigma = 85 - 15 = 70 \text{ мм.}$$

Під час розрахування лінійного розмірного ланцюга (рис. 4.12) за допомогою методу повної взаємозамінності, тобто методу «максимум – мінімум», визначають паралельні відхилення (похибки оброблення) вихідного (завершального) ланцюга за формулою:

$$T_{\Sigma} = \sum_1^{m+n} T_i = (T_{A_1} + T_{A_2});$$

$$T_{\Sigma} = (0,054 + 0,06) = 0,114 \text{ мм.}$$

Як зрозуміло із розв'язання, допуск за кресленням  $T_h = 0,1$  мм менший, ніж можлива похибка під час оброблення ( $T_{\Sigma} = \varepsilon_h = 0,114$  мм), що неприпустимо. Отже, необхідно взяти заходів, що уможливають виконання умови  $\varepsilon_h \leq T_h$ .

Для цього, по-перше, перед конструктором можна поставити питання про можливість зниження точності розміру  $h$ , тобто про розширення допуску  $T_h$  до значення 0,12, тоді  $h = (70 \pm 0,06)$  мм. Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  буде виконано.

По-друге, застосувати як завершальне (фінішне) оброблення тонке фрезерування або чистове шліфування. Економічна точність цих процесів вища і за них  $T_{A_2} = 0,025$  мм. Тоді

$$T_{\Sigma} = (0,054 + 0,025) \text{ мм} = 0,079 \text{ мм.}$$

Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

По-третє, складальний розмір  $A = 85h8$  отримано під час оброблення площин  $A$  і  $B$  до розглядуваної операції. Якщо попереднє оброблення виконати на один квалітет точніше, то допуск розміру буде  $85h7(85_{-0,035})$ . Отже, похибка обробки

$$T_{\Sigma} = (0,035 + 0,006) \text{ мм} = 0,095 \text{ мм.}$$

Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

По-четверте, під час розрахування розмірного ланцюга можна використати ймовірнісний метод і формулу:

$$T_{\Sigma} = K_c \sum_1^{m+n} \frac{T_i}{\sqrt{m+n}},$$

де  $K_c = 1,5$ . У виробництвах із налагодженим технологічним процесом коефіцієнт  $K_c$  знижується до 1,2.



Тоді

$$T_{\Sigma} = 1,2 \frac{(0,054 + 0,06)}{\sqrt{2}} = 0,097 \text{ мм}$$

а отже, умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

По-п'яте, допуск завершального ланцюга розраховують, використовуючи для випадку розсіювання похибок відхилень за законом нормального розподілу таку формулу:

$$T_{\Sigma} = \pm \sqrt{\sum_1^{m+n} (T'_i)^2};$$

$$T_{\Sigma} = \pm \sqrt{0,027^2 + 0,03^2} = \pm 0,04 \text{ мм},$$

отже,  $T_{\Sigma} = 0,08 \text{ мм}$ . Умову  $T_{\Sigma} \leq T_h$  виконано.

Зрештою, у разі незначного обсягу випуску деталей, тобто під час одиничного або дрібносерійного виробництва, можна застосувати не налагодження, а, наприклад, зняття пробної стружки. Під час оброблення кожної деталі контролюють розмір  $h$ .

#### Задача 5

Для виготовлення корпусу опертя виконано два варіанти конструкції вихідної заготовки, отриманої за допомогою лиття (рис. 4.13).

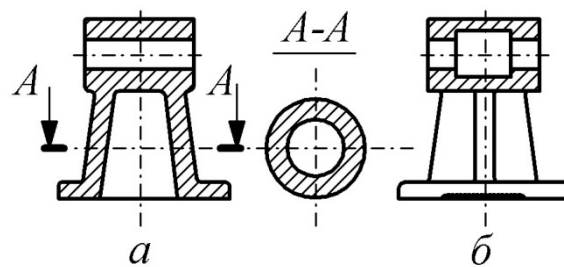


Рисунок 4.13 – Ескіз деталі: *а* – перший варіант конструкції;  
*б* – другий варіант конструкції

Необхідно встановити, за якого із варіантів застосовується технологічніше конструктивне оформлення вихідної заготовки.

#### Розв'язання

Корпус (рис. 4.13, *а*) має в нижній частині трубчасту порожнину. Для її утворення в ливарній формі доведеться застосувати консольний стрижень, а це ускладнить механічне оброблення.

Корпус (рис. 4.13, б) у нижній частині має хрестоподібний перетин, що різниться високою міцністю й жорсткістю, а отже, для здійснення виливання не потрібен стрижень. Це значно полегшує виготовлення форм для лиття. Вилив симетричний відносно вертикальної площини й легко формується у двох формовках. Отвір у середній частині має жолоб, а тому довжина поверхні механічно оброблюваного отвору скорочується, а це, зі свого боку, значно полегшує і здешевлює механічне оброблення.

Таким чином, можна зробити висновок, що другий варіант є технологічнішим.

#### Задача 6

Вал регулятора довжиною  $L_d = 480$  мм (рис. 4.14) виготовляється в умовах дрібносерійного виробництва зі сталевого гарячевальцьованого прокату звичайної точності із діаметром ( $d_0$ ) 100 мм. Найбільший за діаметром ступінь вала за діаметром  $90h10(90_{-0,38})$  із шорсткістю поверхні  $R_a(R_z20)$  оброблюється дворазово – попереднім і остаточним точінням.

Необхідно встановити загальний припуск на механічне оброблення діаметрального розміру; встановити проміжні припуски на обидва переходи оброблення за допомогою статистичного методу; розрахувати проміжний розмір.

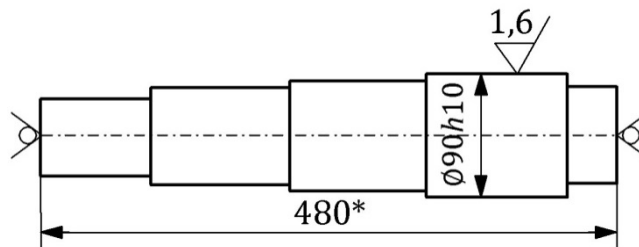


Рисунок 4.14 – Ескіз деталі

#### Розв'язання

Загальний припуск на механічне оброблення на діаметр визначають за формулою:

$$2\Pi_{\text{заг}_d} = d_0 - d_d ;$$

$$2\Pi_{\text{заг}_d} = 100 - 90 = 10 \text{ мм.}$$

Проміжний припуск на діаметр у разі чистового точіння вала становить  $2\Pi_{\text{заг}} = 1,2$  мм.

За дрібносерійного виробництва припуск збільшується, для чого вводиться коефіцієнт  $K = 1,3$ , тобто

$$2\Pi_{2\text{розрах}} = 1,2 \cdot 1,3 = 1,56 \approx 1,6 \text{ мм.}$$

Оскільки вказівки стосовно розміру операційного припуску на діаметр у разі чорнового точіння в технологічних довідниках відсутні, визначимо його шляхом розрахування, використовуючи таку формулу:

$$2\Pi_1 = \Pi_{\text{заг}_d} - 2\Pi_{2\text{розрах}} ;$$

$$2\Pi_1 = 10 - 1,6 = 8,4 \text{ мм.}$$

Отже, вихідний розрахунковий розмір діаметра (найбільший граничний розмір)  $d_{\text{вих}} = 90 \text{ мм}$ , а операційний припуск на чистове точіння

$$d_1 = d_{\text{вих}} + 2\Pi_2 = 91,6;$$

він же з допуском:

$$d_1 = 91,6 \text{ } h(91,6_{-0,35});$$

шорсткість поверхні – 3,2.

У технологічній документації виконуються операційні ескізи на обидва переходи (рис. 4.15).

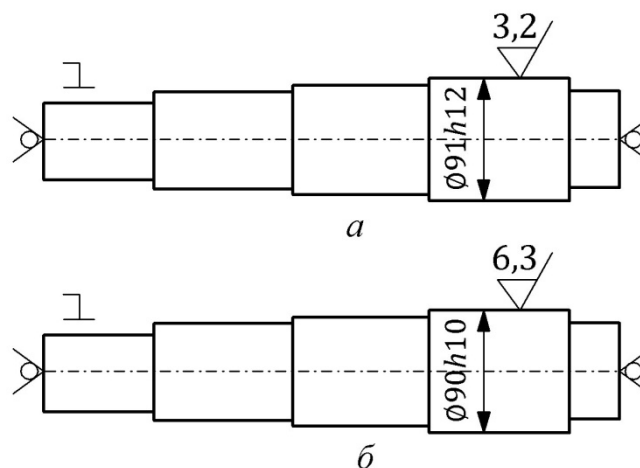


Рисунок 4.15 – Ескіз деталі: *a* – перший перехід; *б* – другий перехід

#### 4.6.2 Задачі для самостійного розв'язання

##### Задача 1

Щодо одного зі ступенів вала застосовується механічна обробка одним із зазначених способів (номери варіантів наведено в таблиці 4.13).

Необхідно встановити економічну точність оброблення; виконати операційний ескіз і вказати на ньому розмір, квалітет точності, розмір допуску та шорсткість. Прийняти, що поверхня розглядуваного ступеня вала співвідноситься з полем допуску базової деталі (*h*).

Таблиця 4.13 – Варіанти методів оброблення

Номер варіанта	Метод оброблення і його характеристика	Довжина вала, мм	Діаметр східця, мм
1	Притирання	100	20
2	Обточування напівчисте	200	45
3	Шліфування тонке	500	55
4	Обточування однократне	450	120
5	Суперфініш	700	100
6	Шліфування попереднє	250	70
7	Обточування тонке	375	65
8	Обточування остаточне	275	50
9	Вигладжування діамантове	60	170
10	Шліфування остаточне	120	38

## Задача 2

На рисунку 4.16 і в таблиці 4.14 позначено варіанти поверхонь із допустимими відхиленнями форми.

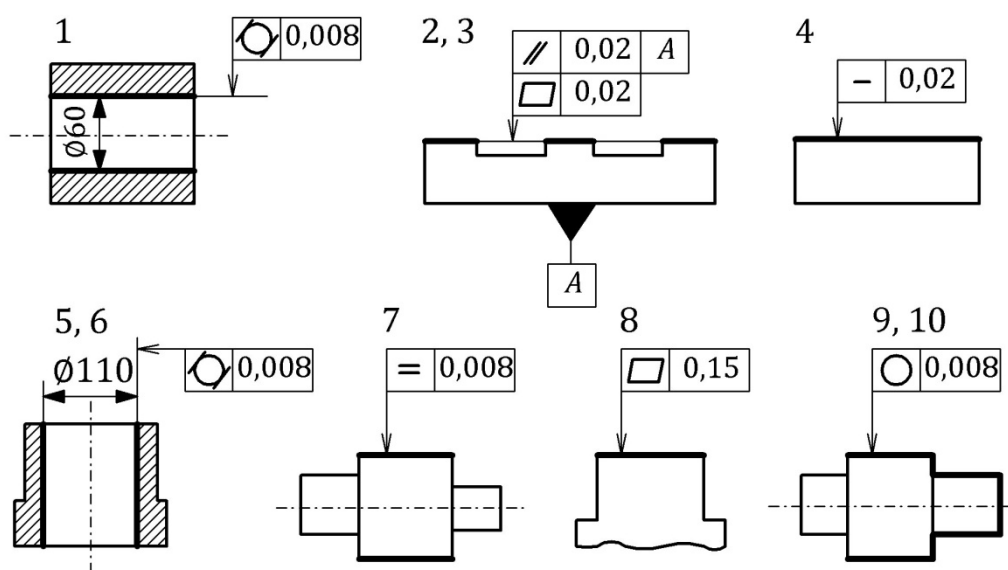


Рисунок 4.16 – Варіанти форми поверхонь деталей

Таблиця 4.14 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Форма поверхні	Тип верстата
1	Отвір	Внутришліфувальний
2	Площина	Плоскошліфувальний
3	Площина	Плоскошліфувальний
4	Грань	Круглошліфувальний
5, 6	Отвір	Хонінгувальний
7	Циліндр	Токарно-гвинторізний
8	Площина	Повздовжньо-стругальний
9	Циліндр	Токарний багаторізцевий
10	Циліндр	Круглошліфувальний

Необхідно встановити можливі варіанти завершального (фінішного) методу оброблення цієї поверхні; товщину дефектного шару, який залишиться після цієї обробки.

### Задача 3

Для зовнішньої поверхні деталі задано необхідну шорсткість поверхні. Варіанти наведено в таблиці 4.15.

Таблиця 4.15 – Вихідні дані

Номер варіанта	Найменування деталі	Вигляд вихідної заготовки	Шорсткість деталі $R_a$ , мкм
1	Утулок	Литво чавунне першого класу	2,50
2	Утулок	Литво чавунне другого класу	1,25
3	Обіймиця	Литво чавунне першого класу	1,25
4	Обіймиця	Литво чавунне другого класу	0,32
5	Вал	Прокат сталевий гаряче-вальцьований звичайної точності	10,00
6	Вал	Прокат сталевий гаряче-вальцьований підвищеної точності	0,63
7	Палець	Прокат сталевий гаряче-вальцьований звичайної точності	5,00
8	Палець	Прокат сталевий гаряче-вальцьований підвищеної точності	0,32
9	Шестерня	Сталеve штампування	2,50
10	Шестерня	Виковок	5,00

Необхідно встановити можливі варіанти завершального (фінішного) методу оброблення цієї поверхні; товщину дефектного шару, який залишиться після цієї обробки.

#### Задача 4

На рисунку 4.17 та в таблиці 4.16 подано варіанти операцій.

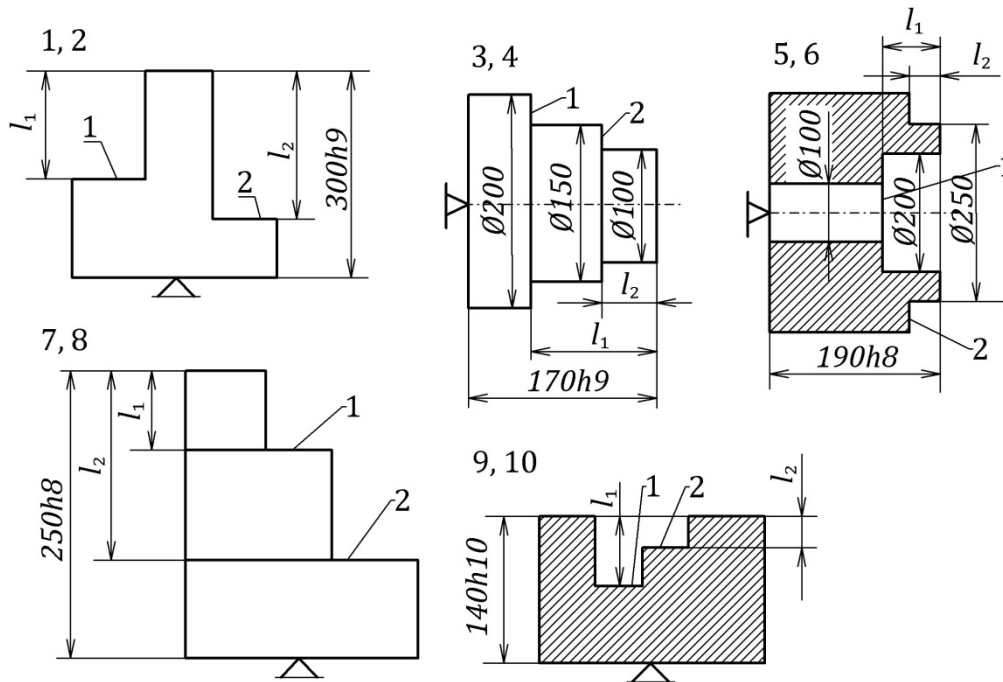


Рисунок 4.17 – Варіанти форми поверхонь деталей

Таблиця 4.16 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Зміст операції	Розмір $l$ , мм
1	Стругати площину 1 попередньо	$l_1 = 150 \pm 0,2$
2	Стругати площину 2 остаточно	$l_2 = 170 \pm 0,1$
3	Підрізати торчак 1 попередньо	$l_1 = 60 \pm 0,3$
4	Підрізати торчак 2 остаточно	$l_2 = 30 \pm 0,1$
5	Підрізати торчак 1 попередньо	$l_1 = 100 \pm 0,2$
6	Підрізати торчак 2 остаточно	$l_2 = 50 \pm 0,1$
7	Шліфувати площину 2 попередньо	$l_1 = 75 \pm 0,1$
8	Шліфувати площину 2 остаточно	$l_2 = 175 \pm 0,2$
9	Фрезерувати площину 2 попередньо	$l_1 = 70 \pm 0,4$
10	Фрезерувати площину 2 остаточно	$l_2 = 30 \pm 0,2$

Необхідно визначити можливу похибку базування розміру внаслідок виконання зазначеного оброблення.

#### Задача 5

Під час конструювання вихідної заготовки або її елементів було запропоновано дві конструкції (варіанти наведено в таблиці 4.17 і на рисунку 4.18).

Таблиця 4.17 – Варіанти форми поверхонь деталей

Номер варіанта	Найменування деталі	Вид заготовки
1; 6	Колесо зубчасте	Виковок штампований
2; 7	Важіль	Виковок штампований
3; 8	Накривка	Виливок
4; 9	Горловина корпусу	Зварна
5; 10	Корпус круглий	Виливок

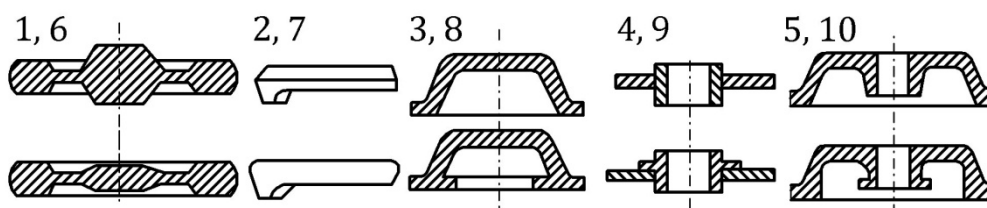


Рисунок 4.18 – Варіанти форми поверхонь деталей

**Задача 6**

Для виготовлення вала регулятора (рис. 4.19) як заготовку використано гарячевальцьований сталевий круглий прокат звичайної точності із діаметром  $d_0$ . Найбільша за діаметром ступінь цього вала має діаметр  $d_d$ , вона виготовляється з точністю за 11 квалітетом й шорсткістю поверхні  $R_a10$ , оброблюється двічі: попереднім і остаточним точінням. Варіанти задачі наведено в таблиці 4.18.

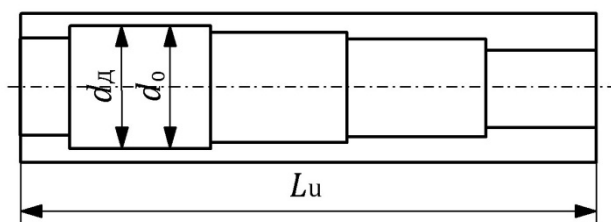


Рисунок 4.19 – Ескіз деталі

Таблиця 4.18 – Вихідні дані

Номер варіанта	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$d_B$ , мм	75h11	85a11	65b11	95a11	60a11	95d11	70a11	90h11	80d11	75h11
$d_0$ , мм	80	95	70	105	65	100	75	95	90	60
$L_d$ , мм	430	460	320	450	325	400	400	420	450	300

За допомогою таблиць необхідно встановити загальний і проміжний припуски; розрахувати проміжний розмір і виконати операційні ескізи.

## 4.7 Статистичний аналіз технологічних операцій складання виробів газового обладнання й трубопровідних систем

### 4.7.1 Основні розрахункові співвідношення

Оптимальна структура технологічного процесу складання і монтажу визначається шляхом оцінювання його основних техніко-економічних показників за допомогою статистичного методу. Як базова обирається одна зі статистичних моделей. Розглянемо методику статистичного моделювання стосовно процесу складання і монтажу виробів газового обладнання й трубопровідних систем [9, 31, 36].

Унаслідок операції складання до провідного напівфабрикату послідовно приєднується  $n$  деталей. Позначимо їх параметри до моменту складання  $t \leq t^H$ : для провідного напівфабрикату –  $\alpha_j$ , а для ведених –  $\alpha_{j1}, \alpha_{j2}, \dots, \alpha_{jk}$ . Операція складання буде тривати, якщо в необхідний момент часу наявна відповідна деталь, в іншому разі виконання операції зривається. У момент завершення складання  $t \geq t^k$  одержуємо складальну одиницю зі значенням вихідного параметра  $\Pi_j$ . Кожна деталь, яка приєднується до провідного напівфабрикату, перевіряється протягом часу  $\tau^{np}$ . Вона з імовірністю  $P^{bp}$  може виявитися бракованою, у цьому разі триває обмежений час, оскільки режим пересування складальної одиниці процесом є жорстким. Якщо вона не вкладається у встановлену норму часу, то виконання операції складання зривається. Після завершення процесу й отримання готового виробу, а також у разі призупинення операції переходять до складання чергового виробу. Використовуване для складання устаткування підготовляється до операції протягом часу  $\tau^r$ , який може бути детермінованою або випадковою величиною. Процес досліджується доти, поки дотримується умова:  $t_j^n < T$ , де  $t_j^n$  – момент надходження на складання провідного напівфабрикату;  $T$  – період функціонування.

Розіб'ємо складальну операцію на  $i = 1, 2, \dots, n$  найпростіших операцій, протягом яких передбачено приєднати до провідного напівфабрикату тільки одну деталь. Тривалість  $i$ -ї операції для  $j$ -го вузла позначимо  $\tau_{ij}^{ck}$ , а момент її завершення –  $\tau_{ij}^k$ . У разі формалізації її зручно подати в такому вигляді:

$$\tau_{ij}^{ck} = \tau_{ij}^{\phi} + \tau_{ij}^y + \tau_{ij}^{\phi k}, \quad (4.75)$$

де  $\tau_{ij}^{\phi}, \tau_{ij}^y, \tau_{ij}^{\phi k}$  – час формування, установлення й фіксування деталей, який визначається на підставі наявного на підприємстві устаткування або за галузевими стандартами.



Для кожної операції (складання, монтаж, контроль якості) збирається статистичний матеріал про змінювання їхньої тривалості в часі (наприклад шляхом хронометражу робочого часу). На підставі наявних дослідних і довідкових даних устанавлюються детерміновані в часі показники процесу складання й імовірних діапазонів їхнього змінювання: тривалість підготовки до операції  $\tau_{ij}^r$ , інтенсивність перевірки якості деталей  $\lambda_{np_r}$ , імовірність появи браку деталей  $P_i^{br}$  тощо. Накопичений статистичний матеріал подається в зручній для сприйняття формі: устанавлюються закони розподілу (рис. 4.20), визначаються їхні числові характеристики.

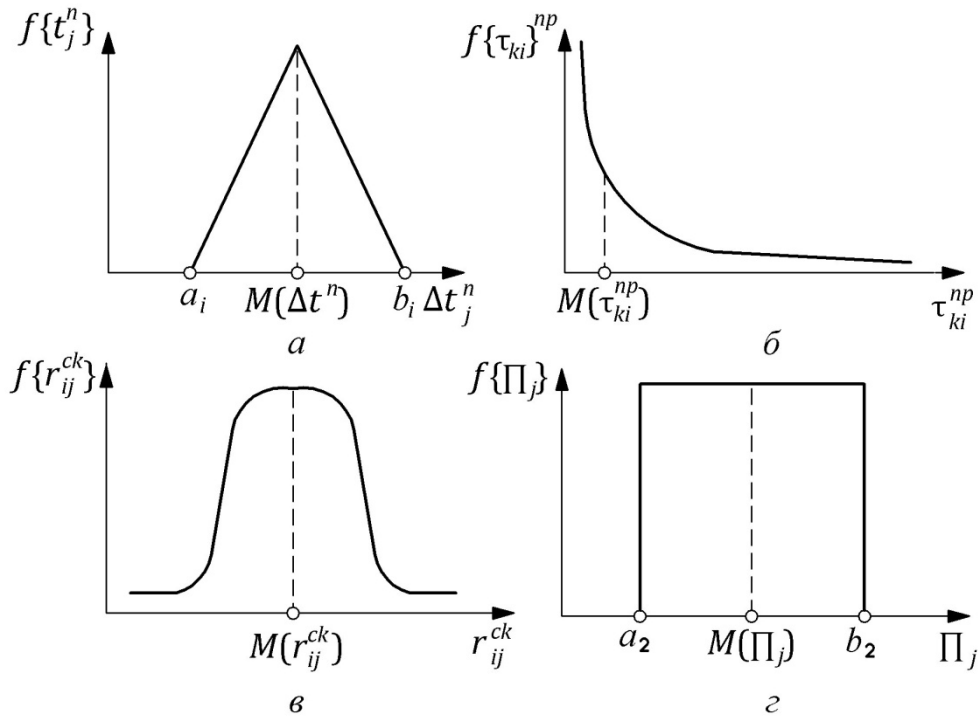


Рисунок 4.20 – Розподіл характеристик процесу складання:

- $a$  – інтервали між моментами надходження провідного напівфабрикату;  
 $b$  – тривалість перевірки якості деталей;  $v$  – тривалість операції складання;  
 $z$  – вихідного параметра – маси виробу

Це дає змогу розрахувати за допомогою рівнянь ритм складання:

$$\tau^T = \frac{1}{n} \left[ \sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^{ck}) + \sum_{i=1}^n M(\tau_{ij}^r) + \sum_{i=1}^n \sum_{k=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ij}^{np}) \right]; \quad (4.76)$$

кількість деталей, необхідну для складання за аналізований період:

$$n_{ki} = T / \tau^T; \quad (4.77)$$

граничні значення моменту складання  $i$ -ї операції:

$$t_{ij}^* = t_j^n + 1,1 \left[ M(\tau_{ij}^r) + \sum_{i=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ij}^{np}) + M(\tau_{ij}^{ck}) \right] \quad (4.78)$$

та  $j$ -го вузла:

$$t_j^* = t_j^n + 1,1 \sum_{i=1}^n \left[ M(\tau_{ij}^r) + \sum_{i=1}^{n_{ki}} M(\tau_{ij}^{np}) + M(\tau_{ij}^{ck}) \right]. \quad (4.79)$$

Далі в аналітичній формі записуються всі співвідношення, необхідні для моделювання – момент завершення операції складання ( $t_{ij}^k$ ) і момент часу готовності складального агрегату до виконання наступної операції ( $\tau_{ij}^r$ ):

$$t_{ij}^k = t_{ij}^n + \tau_{ij}^{ck}; \quad (4.80)$$

$$\tau_{ij}^r = t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^r. \quad (4.81)$$

На підставі даних задач дослідження встановлюють час аналізу роботи системи: зміна, декада, місяць, рік.

Для побудови математичної моделі процесу складання встановимо необхідне співвідношення параметрів виробу до операції і після її виконання. Залежність буде мати такий вигляд:

$$П_j = f(\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}, \beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m), \quad (4.82)$$

де  $\alpha_j, \alpha_{i1}, \alpha_{i2}, \dots, \alpha_{ik}$  – параметри виробу;

$\beta_1, \beta_2, \dots, \beta_m$  – параметри, які характеризують складальний агрегат.

Оскільки процеси, які відбуваються під час складання є випадковими, рівняння можна подати у такому вигляді:

$$П_j = П_j^0 \pm \delta(П_j), \quad (4.83)$$

де  $\delta(П_j)$  – випадкові відхилення величини  $П_j$  від деякого не випадкового значення  $П_j^0$  відповідно до законів розподілу.

Однак наведені співвідношення не є вичерпними для математичного опису операції складання. До них необхідно додати залежності, які визначають режим функціонування складального агрегату в часі.

Якщо операція складання синхронізована з тактом випуску продукції, то її початок визначається так:

$$t^H = t_0 + (K + 1) \cdot \tau^T, \quad (4.84)$$

де  $t_0$  – початок відліку;

$\tau^T$  – тривалість ритму складання;

$K$  – числа 0, 1, 2, ....

На практиці можливі процеси, що жорстко не керуються режимом виробничих циклів у часі. Операція в цьому разі починається в будь-який момент часу, якщо агрегат готовий до роботи і до нього надійшов черговий напівфабрикат:

$$t_{ij}^H = \begin{cases} t_{ij}^n, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^r \leq t_{ij}^n; \\ t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^r, & \text{якщо } t_{i-1,j}^k + \tau_{i-1,j}^r > t_{ij}^n. \end{cases} \quad (4.85)$$

Будь-яке можливе простоювання складального устаткування враховується під час визначення  $\tau^r$ .

Якщо операцію складання розпочато в разі надходженні на складання всіх напівфабрикатів і готовності устаткування, то початок операції визначають за формулою:

$$t_j^n \max = \{t_j^n, t_1^n, t_2^n, \dots, t_i^n, \dots, t_n^n, t_{j-1}^k + \tau_{j-1}^r\}. \quad (4.86)$$

Операційна схема моделювального алгоритму для складника операції складання має такий вигляд:

$$\begin{aligned} & {}^8\Phi_1 P_{2\downarrow 21}^{2,18,20} P_{3\downarrow 9} \Phi_4 K_5 K_6 F_7 F_8^{1,3} F_9^{9,14} P_{10}^{\uparrow 12,10,17} \\ & K_{11}^{19,10} K_{12} \Phi_{13} P_{14}^{\uparrow 10} \Phi_{15} A_{16} P_{17\downarrow 11} K_{18}^{3,11} F_{19} K_{20}^{3,2} A_{21} Y_{22}. \end{aligned}$$

Функції використуваних операторів:  $\Phi_1$  – формування випадкової події;  $t_n^j$  – момент надходження на складання провідного напівфабрикату;  $P_2$  – перевірка умови  $t_n^j < T$ ;  $P_3$  – перевірка логічної умови  $i < n$ , що визначає приєднання всіх деталей до провідного напівфабрикату;  $\Phi_4$  – формування вихідної ознаки якості готового виробу  $\Pi_j$  або параметрів складальної одиниці на виході складального агрегату у разі призупинення операції;  $K_5$  – лічильник кількості виробів, що пройшли складання, який реалізує операцію  $(N+1)$ ;  $K_6$  – лічильник номерів провідних напівфабрикатів  $(j + 1)$ ;  $F_7$  – формування початку складання  $i = 1$ ;  $F_8$  – перехід до нової складальної

одиниці;  $F_9$  – встановлення тривалості підготовки обладнання до виконання чергової операції складання  $\tau_{ij}^r$ ;  $P_{10}$  – перевірка умови  $n_{ki} > 0$ , де  $n_{ki}$  – кількість деталей  $i$ -го типу, що залишилися в складальному агрегаті;  $K_{11}$  – лічильник деталей  $i$ -го типу, що залишилися в складальному агрегаті після виконання наступної операції складання;  $\Phi_{13}$  – формування випадкового значення тривалості часу перевірки за відомим законом розподілу  $f(\tau^{np})$ ;  $P_{14}$  – перевірка придатності деталей за умови  $\xi < P_i^{bp}$ , де  $\xi$  – випадкове число з однаковим імовірнісним розподілом в інтервалі  $[0; 1]$ ;  $\Phi_{15}$  – формування тривалості операції складання за відомим законом  $f(\tau^{ck})$ ;  $A_{16}$  – визначення моменту  $t_{ij}^k$  завершення  $i$ -ї операції складання з урахуванням часу перевірки якості  $\tau_{ij}^{np}$ ;  $P_{17}$  – перевірка умови  $t_{ij}^k < t_{ij}^*$ ;  $K_{18}$  – лічильник кількості складальних операцій  $(i + 1)$ ;  $F_{19}$  – імітація завершення складальної операції ( $i = n + 1$ );  $K_{20}$  – лічильник готових виробів (реалізує операцію  $(N - 1)$ , виокремлює браковані вироби);  $A_{21}$  – оброблення результатів моделювання;  $Я_{22}$  – видача результатів.

#### 4.7.2 Приклади розв'язання задач

##### Задача 1

Операція герметизації корпусу давача вимірювання фізичних величин спричиняє змінювання його коефіцієнта посилення  $K$ . Систематична похибка зменшує коефіцієнт на 50. Випадкова похибка розподілена нормально, із середнім квадратичним відхиленням  $\sigma\{K\}=100$ . Визначити ймовірність того, що змінювання коефіцієнта посилення на цій операції не перевищить за абсолютною величиною 150.

##### Розв'язання

За умовами задачі щільність імовірності відхилення коефіцієнта посилення

$$f(\Delta K) = \frac{1}{100\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(\Delta K + 50)^2}{20000}} \approx 0,4e^{-\frac{(\Delta K + 50)^2}{20000}}.$$

За допомогою таблиць функцій Лапласа визначимо:

$$\begin{aligned} P\{|\Delta K| < 150\} &= P\{-150 < \Delta K < 150\} = \\ &= \frac{1}{2} \left[ \Phi\left(\frac{150 + 50}{100}\right) - \Phi\left(\frac{-150 + 50}{100}\right) \right] = \frac{1}{2} [\Phi(2) - \Phi(-1)]. \end{aligned}$$

Оскільки інтеграл імовірності – непарна функція  $\Phi(\Delta K) = -\Phi(\Delta K)$ , то  $\Phi(-1) = -\Phi(1)$ . Тоді  $P\{|\Delta K| < 150\} = 0,5[\Delta\Phi(2) + \Phi(1)]$ . За таблицею знаходимо:  $\Phi(2) = 0,9545$ ,  $\Phi(1) = 0,6827$ . Отже

$$P\{|\Delta K| < 150\} = 0,5[0,9545 + 0,6827] = 0,8186.$$

## Задача 2

Розподіл сумарного впливу трьох технологічних операцій на вихідний параметр давача характеризується такою щільністю ймовірності:

$$f(x_1; x_2; x_3) = \frac{\sqrt{3}}{16\pi^{3/2}} e^{-\frac{1}{8}[4x_1^2 - 2x_1(x_2+5) + (x_2+5)^2 + 2x_3^2]}.$$

Під впливом кожної операції  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  відбувається змінювання значення вихідного параметра давача порівняно з його попереднім значенням, що обумовлено комплектуючими давача.

Скласти кореляційну матрицю та визначити область, у якій щільність імовірності буде дорівнювати 0,01.

## Розв'язання

Безпосередньо з виразу для щільності ймовірності випливає, що  $k_{13} = k_{23} = 0$ :

$$f(x_1; x_2; x_3) = f(x_1; x_2)f(x_3);$$

$$f(x_3) = A_1 e^{-x_3^2/4};$$

$$f(x_1; x_2) = A_2 e^{-\frac{1}{2}\left[x_1^2 - \frac{2x_1(x_2+5)}{4} + \frac{(x_2+5)^2}{4}\right]}.$$

Звідси

$$\sigma^2\{X_1\} = \frac{1}{1-r^2}; \quad \sigma^2\{X_2\} = \frac{4}{1-r^2}; \quad \sigma^2\{X_3\} = 2 \frac{r}{\sigma\{X_1\}\sigma\{X_2\}(1-r^2)} = \frac{1}{4};$$

$$r = \frac{k_{12}}{\sigma\{X_1\}\sigma\{X_2\}} = 0,5;$$

$$k_{12} = 4/3; \quad |K_{ij}| = \begin{vmatrix} 2 & 0 & 0 \\ 0 & 4/3 & 4/3 \\ 0 & 4/3 & 16/3 \end{vmatrix}.$$

Обчислимо нормувальний множник:

$$\frac{1}{(2\pi)^{3/2} \sqrt{\Delta}} = \frac{\sqrt{3}}{\pi^{3/2} \cdot 2\sqrt{2} \cdot \sqrt{32}} = \frac{\sqrt{3}}{16\pi^{3/2}}.$$

Область, у якій щільність імовірності дорівнює 0,01, є еліпсоїдом:

$$4X_1^2 + 2X_1(X_2 + 5) + (X_2 + 5)^2 + 2X_3^2 = -8 \ln \left[ \frac{16\pi^{3/2}}{100\sqrt{3}} \right].$$

#### 4.7.3 Задачі для самостійного розв'язання

##### Задача 1

Давач вимірювання фізичних величин складається на потоковій лінії, такт складання – 2 хв. Готовий блок знімається з конвеєра для контролю та регулювання у довільний момент часу в межах такту. Знайти математичне сподівання та середнє квадратичне відхилення часу перебування готового блока на конвеєрі. Час знаходження блока на конвеєрі підпорядковується закону рівномірного розподілу випадкових величин.

##### Задача 2

Щільність розподілу вихідного параметра давача має такий вигляд:

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\{x\}\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{[x-M\{X\}]^2}{2\sigma^2\{X\}}}.$$

Складальні операції змінюють чисельні характеристики розподілу, не змінюючи закону. Що більше підвищує ймовірність появи браку: систематичне зсування значення похибки вихідного параметра на  $a$  одиниць чи збільшення дисперсії похибки на ці самі  $a$  одиниць?

##### Задача 3

Нормована величина операційного доробку  $z_{mx}$  перервно-потокової лінії під час складання давача розподілена за законом рівнобічного трикутника на відрізку  $(-1, 1)$ . Записати вираз щільності ймовірності та функції розподілу величини доробку, знайти її математичне сподівання та дисперсію.

##### Задача 4

Під час виробництва давачів брак вимірювання фізичних величин через невідповідність смуги пропускання завдань дорівнює 6 %, до того ж серед

забракованої за цією ознакою апаратури в чотирьох відсотках випадків коефіцієнт частотних перекручувань перевищує задану величину. У апаратурі, в якій відсутній брак за смугою пропускання, брак за частотними перекручуваннями спостерігається в одному відсотку випадків. Визначити коефіцієнт кореляції двох дефектів і ймовірність браку за коефіцієнтом частотних перекручувань в усій партії.

#### *Задача 5*

Блоки давачів вимірювання фізичних величин, що складаються на конвеєрі, сортуються відповідно до їхніх характеристик на дві групи. Імовірність отримання блока першої групи –  $P_1$ , а другої –  $P_2$ . Знайти математичне сподівання кількості випадків, за яких до та після блоку цієї групи складається блок першої групи.

#### *Задача 6*

Імовірність складання придатного давача вимірювання фізичних величин при одній контрольній операції – 0,4. У разі введення ще двох контрольних операцій ця ймовірність збільшуватиметься на 0,1. Визначити математичне сподівання числа  $x$  придатних давачів після введення загальної кількості складених давачів  $Y$ .

#### *Задача 7*

Імовірність складання давачів вимірювання фізичних величин двох типів –  $P_1$  і  $P_2$ . Усього складено  $n_1$  давачів першого типу та  $n_2$  другого типу. Визначити математичне сподівання загальної кількості складених давачів  $Y$ .

## **5 КОНТРОЛЬ ПІД ЧАС ВИРОБНИЦТВА І РЕМОНТУ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

### **5.1 Загальна характеристика контролю**

Одним із заходів, що забезпечують необхідну якість виробів, зокрема їхню надійність, є контроль. Операції контролю здійснюються практично під час усього життєвого циклу виробництва й експлуатації виробів. Метою контролю є визначення якісних і кількісних характеристик виробів, оцінка відповідності параметрів об'єкта контролю вимогам конструкторської й технологічної документації, чинним нормам і ДСТУ. У разі відхилення параметрів від норми на величини, що перевищують допуски, виріб визнається некондиційним [11, 12, 25].

Організацію та здійснення системи контролю в процесі виробництва покладено на відділ технічного контролю й службу державної підтримки. Хоч вони й виконують одне й те саме завдання – забезпечення технічного контролю на всіх етапах виробництва, проте різняться підпорядкованістю. Якщо відділ технічного контролю є одним із виробничих підрозділів виробництва, то органи державного приймання не підпорядковуються виробництву, позбавлені відомчих інтересів і представляють інтереси споживача. Отже, одночасно здійснюється і контроль за виконанням технологічного процесу, що уможливорює оптимальне вирішення виниклих під час проведення вхідного контролю матеріалів, деталей і виробів, які надходять із суміжних підприємств, проблем, і забезпечується їхня необхідна кількість.

Відділ технічного контролю на етапі освоєння нового виробу забезпечує глибоке вивчення усієї документації, вирішує проблеми організації й технічного забезпечення контролю. Під час підготовки виробництва необхідно використовувати накопичений досвід і зібрати статистичні дані інших підприємств, отримані під час виробництва подібних виробів.

На етапі виробництва або ремонту здійснюють вхідний контроль комплектуючих матеріалів; контроль технологічних режимів виробництва і міжопераційний контроль; проводять заходи щодо встановлення причин некондиційності (браку) виробів, а також щодо остаточного приймання й випробування виробів газового обладнання й трубопровідних систем.



Вхідний контроль проводить лабораторія вхідного контролю. У процесі вхідного контролю перевіряють матеріали, напівфабрикати й комплектуючі вироби, а також документацію на них шляхом проведення аналізів і випробувань.

Контроль процесу й виробництва здійснює бюро технічного контролю цеху. Під час контролю виконується приймання й оцінювання якості виробів. Заходи щодо встановлення причин некондиційності є одним з найважливіших завдань відділу технічного контролю. Для проведення цієї роботи залучаються розробники виробів, лабораторії, відділи, цехи. Остаточне приймання й випробування виробів газового обладнання й трубопровідних систем проводиться в лабораторії типових випробувань. Під час їхнього проведення визначається вплив кліматичних і механічних чинників на якість виробів газового обладнання й трубопровідних систем.

Зазвичай, у складі відділу технічного контролю є контрольно-вимірювальна лабораторія, що здійснює перевірку й атестацію використовуваних засобів контролю, а також виготовлюваних на підприємстві оснащення й інструментів; технічне бюро, яке зберігає й систематизує інформацію під час експлуатації, проводить роботи із забезпечення результатів контролю якості, а також керує відділом технічного контролю в цехах. Окрім того, до складу відділу технічного контролю входить інспекторська група.

З метою забезпечення необхідного рівня надійності на підприємствах працюють відділи або лабораторії надійності. Співпрацюючи з відділом технічного контролю, вони розробляють заходи, що забезпечують необхідний рівень надійності виробів. З цією метою розробляються програми та методики випробувань на надійність. Обробляються статистичні дані і виробляються рекомендації щодо удосконалення виробів і технічної документації на розроблення контрольно-вимірювального обладнання. Метою всіх цих заходів є отримання вірогідних даних про фактичну надійність виробів і в разі необхідності, розроблення заходів щодо її підвищення.

Види технічного контролю можна класифікувати за низкою ознак: способом контролю, співвідношенням із виробничим процесом; ступенем придатності виробів до використання; ступенем охоплення; характером впливу контролю на перебіг виробничого процесу; періодичністю контролю; ступенем участі людини в процесі контролю. Варто зазначити, що деякі операції контролю не впливають на якість виробу (неруйнівний контроль). Руйнівний контроль зазвичай використовується під час оцінювання надійності й міцності.

### *Розглянемо основні способи контролю*

Візуальний контроль здійснюється шляхом зовнішнього огляду виробу з метою встановлення наявності поверхневих дефектів і невідповідності виробу кресленню. Під час візуального контролю виробів важливо перевірити якість монтажу, зокрема якість паяних та зварювальних з'єднань, якість ізоляції проводів і плат, а також відповідність виробу кресленню. Контроль здійснюється на підставі технологічних карт контролю, за описом операцій контролю в технологічних картах або ж за спеціально розробленими інструкціями. Під час проведення візуального контролю використовують оптичні засоби – лупу, мікроскоп, дзеркало, необхідні для огляду прихованих поверхонь і контролю якості зварювань.

Геометричний контроль здійснюється за допомогою замірювання вимірювальними інструментами розмірів і форм деталей і виробів та порівняння їх з кресленнями або зразками.

Механічний контроль здійснюється шляхом прикладання статистичних або динамічних навантажень із метою перевірки міцності з'єднань і кріплень, а також контролю якості використаних у деталях матеріалів, які зазнають механічних впливів. Для проведення механічного контролю можуть бути використані динамометри, центрифуги, вібраційні й ударні стенди.

Фізико-хімічний контроль полягає у дослідженні фізичних і хімічних властивостей матеріалів, що використовуються для виготовлення деталей у виробках газового обладнання й трубопровідних систем.

Технологічний контроль здійснюється шляхом контролю правильності виконання операцій технологічного процесу з метою попередження порушень технологічних режимів. Для організації технологічного контролю необхідно зібрати статистичні дані про якість виробів і побудову фізико-хімічної чи статистичної моделі, яка поєднує показники якості й параметри технологічних режимів.

У виробничому процесі розрізняють поточний (міжопераційний) контроль процесу виробництва і приймальний (вихідний) контроль готових виробів. Міжопераційний контроль використовують під час виконання технологічного процесу після найскладніших, нестабільних операцій, на яких виникає високий рівень браку. Застосування міжопераційного контролю дає змогу вилучити брак із технологічної лінії, а отже, уникнути витрат на свідомо некондиційний виріб, встановити причину браку та вжити заходів щодо їхнього усунення, наприклад налагодити обладнання або замінити інструмент, у разі принципової нестабільності певного технологічного процесу змінити технологію для підвищення стабільності виробництва або нейтралізувати наявність браку шляхом запуску у виробництво великої

кількості виробів, що гарантує стабільний випуск необхідної кількості кондиційної продукції. Приймальний контроль застосовується щодо готових виробів, які застосовуються самостійно.

За способами визначення ступеня придатності виробу до використання контроль можна класифікувати за ознаками контролю.

Під час контролю за якісною ознакою з деякою точністю визначається чисельне значення контрольованого параметра. Значення контрольованого параметра обумовлюється низкою факторів, як детермінованих, так і випадкових. На підставі результатів контролю можна здійснювати корекцію систематичних відхилень від норми шляхом регулювання технологічного процесу. Після статичного оброблення результатів вимірювання неперервної випадкової величини можна визначити її закон розподілу. У разі нормального закону розподілу достатніми характеристиками будуть математичне сподівання й дисперсія. Кількісні ознаки можуть бути як неперервними, так і дискретними випадковими величинами.

Під час здійснення контролю за якісною ознакою використовують таке поняття, як подія. Виріб може потрапити в допуск і бути кондиційним або ж вийти за його межі й стати браком. Під час здійснення контролю за якісною ознакою використовують вибіркові методи контролю – оцінюють партію  $n$  виробів за контролем вибірки обсягом  $n$  виробів ( $n < N$ ). При цьому отримують, що кількість некондиційних виробів у вибірках підпорядковується біномному закону розподілу.

Одночасно з перевагами – простотою методу контролю, малим обсягом обчислень - контроль за якісним показником має і недолік: через втрату інформації про певне значення контрольованої величини втрачається можливість визначати зміни під час виконання технологічного процесу й попереджати появу браку внаслідок заходів щодо проведення операцій налаштування технологічного обладнання.

За ступенем охоплення контролем виробів газового обладнання й трубопровідних систем розрізняють суцільний (стовідсотковий) і вибірковий контроль. Стовідсотковий контроль сприяє вирішенню завдання вилучення під час міжопераційного контролю некондиційних виробів з подальшого виробництва й забезпеченню високої якості готових виробів під час вихідного контролю. Вибірковий контроль застосовують у разі масового й багатосерійного виробництва, знижуючи таким чином витрати на контрольні операції. Під час організації вибіркового контролю важливо, щоб він був точним і надійним, що обумовлюється обсягом вибірки й використовуваним контрольним обладнанням.

У практиці використовують такий різновид вибіркового контролю, як оперативний контроль. Його метою є перевірити правильність виконання

технологічного процесу, оперативно усунути місця виникнення браку. До цього типу контролю належить і інспекторський контроль. Він здійснюється інспекторською групою при начальнику відділу технічного контролю. Результати інспекторського контролю спільно аналізуються інспекторською групою відділу технічного контролю й технологічною службою підприємства.

За характером впливу контролю на перебіг виробничого процесу розрізняють активний і пасивний контроль. Пасивний контроль здійснюється здебільшого за якісною ознакою. Він призначений для вилучення браку й необхідний для аналізу причин його виникнення та вжиття заходів для їхнього усунення. Під час його використання застосовується статистичне оброблення результатів вимірювання.

За періодичністю контроль поділяється на безперервний, періодичний та інспекторський. Якщо безперервний та періодичний контроль плануються заздалегідь та покликані підтримувати необхідну стабільність технологічного процесу, то інспекторський здійснюється у разі збільшення браку або встановлення порушень технології виробництва.

За ступенем участі людини в процесі контролю розрізняють ручний, напівавтоматичний і автоматичний види контролю.

Ручний контроль доцільно застосовувати під час одиничного й дрібносерійного виробництва або виготовлення унікальної апаратури. Він найбільш трудомісткий і потребує високої кваліфікації контролера, останнє, однак, не гарантує його високої якості. Під час ручного контролю використовується стандартне універсальне вимірювальне обладнання. Час здебільшого витрачається на операціях регулювання контрольних пристроїв.

Напівавтоматичний контроль здійснюється на спеціальному контрольно-вимірювальному обладнанні. Процес вимірювання автоматизується, однак підготовчі та заключні операції здійснюються вручну. Використовується в серійному й масовому виробництві.

Автоматичний контроль здійснюється на установках з високим рівнем автоматизації всіх процесів – приблизно 98 % часу контролю припадає на роботу автоматів. Автоматизуються й такі «інтелектуальні» операції, як сортування за групами якості, визначення характеру несправності тощо. Розвиток мікропроцесорної техніки забезпечує універсальність контрольного обладнання, а застосування роботів сприяє його адаптації до різних видів продукції.

Успішно розвиваються неруйнівні методи контролю, що базуються на використанні рентгенівських установок, інфрачервоної техніки й інших видів інтроскопії. Розвиток технічних засобів діагностування необхідний для створення автоматизованих, керованих контролюючих комплексів, які

охоплюють усе виробництво та здійснюють оперативне керування технологічним процесом.

## 5.2 Вхідний контроль комплектуючих

Відповідно до методу проведення контроль поділяється на одноступеневий, двоступеневий і послідовний.

Одноступеневий контроль – це приймальний статистичний контроль, під час якого рішення щодо якості партії з  $N$  контрольованих виробів приймаються на підставі перевірки тільки однієї випадкової вибірки, обсяг якої  $n$ . За підсумками контролю визначають кількість дефектних виробів у вибірці  $m$ .

Партію з  $N$  виробів приймають, якщо  $m \leq C_1$ , де  $C_1$  – норматив оцінювання (приймальне число). В іншому разі партію контролюють повністю, тобто здійснюють стовідсотковий контроль (із заміною дефектних виробів придатними) або бракують, якщо такий контроль застосувати неможливо (виріб може вийти з ладу) або це недоцільно з економічного погляду [23, 25].

Імовірність прийняття партії за підсумками контролю вибірки визначається з рівняння:

$$B_n = \sum_{m=0}^c \frac{a^m}{m!} e^{-a}, \quad (5.1)$$

де  $m$  – кількість дефектних виробів у вибірці;

$a$  – параметр розподілу Пуассона:

$$a = n \cdot g, \quad (5.2)$$

де  $n$  – обсяг вибірки;

$g$  – частка дефектних виробів.

Оперативна характеристика приймального контролю – це ймовірність прийому партії залежно від частки у ній дефектних виробів (рис. 5.1).

Значення  $(1 - P(q_1))$ , де  $q_1$  – приймальний рівень якості, визначає ризик постачальника  $\alpha$ .

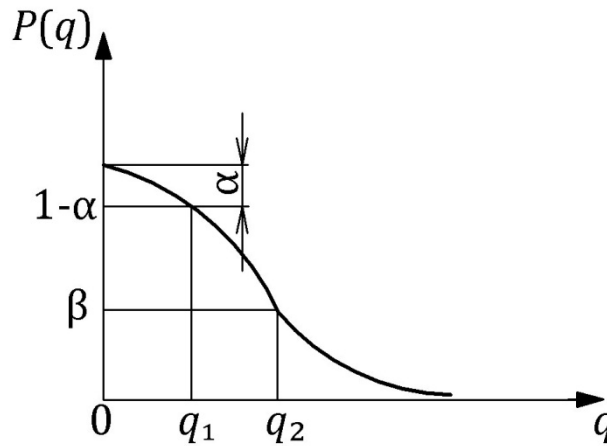


Рисунок 5.1 – Оперативна характеристика

Ризик постачальника – імовірність забракування якісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій не перевищує приймального рівня  $q_1$ .

Ризик споживача – найбільша ймовірність приймання неякісної партії, тобто партії, частка дефектних виробів у якій перевищує бракувальний рівень  $q_2$ .

Двоступеневий контроль – це приймальний статистичний контроль, під час якого рішення щодо якості партії контрольованих виробів приймається за результатами перевірки двох вибірок, до того ж необхідність відбору другої вибірки визначається за підсумками перевірки першої вибірки [22, 26].

Якщо  $m_1 \leq C_1$ , партію приймають; якщо  $m_2 \geq C_2$ , партію бракують ( $C_1$  – приймальне число;  $C_2$  – бракувальне число для першої вибірки).

Якщо  $C_1 < m_1 < C_2$ , то обирається друга вибірка, яка теж контролюється та визначається кількістю браку  $m_2$ .

Якщо  $m_1 + m_2 < C_3$ , то партія приймається, якщо  $m_1 + m_2 \geq C_4$ , то партію необхідно контролювати повністю ( $C_3$ ,  $C_4$  – приймальне та бракувальне числа для другої вибірки відповідно).

Для проведення послідовного контролю насамперед потрібно побудувати лінію приймання й бракування, використовуються для побудови такі співвідношення:

$$C_{np} = \frac{\varepsilon - 1}{\ln \varepsilon} \cdot a - \frac{A}{\ln \varepsilon}; \quad C_{bp} = \frac{\varepsilon - 1}{\ln \varepsilon} \cdot a - \frac{B}{\ln \varepsilon}, \quad (5.3)$$

$$\varepsilon = \frac{q_2}{q_1}; \quad a = n \cdot q;$$

$$A = \ln \frac{1 - \alpha}{\beta}; \quad B = \ln \frac{1 - \beta}{\alpha}. \quad (5.4)$$

Послідовний контроль здійснюють доти, поки точка з координатами  $(n, m)$  не потрапить у зону приймання або бракування (рис. 5.2).

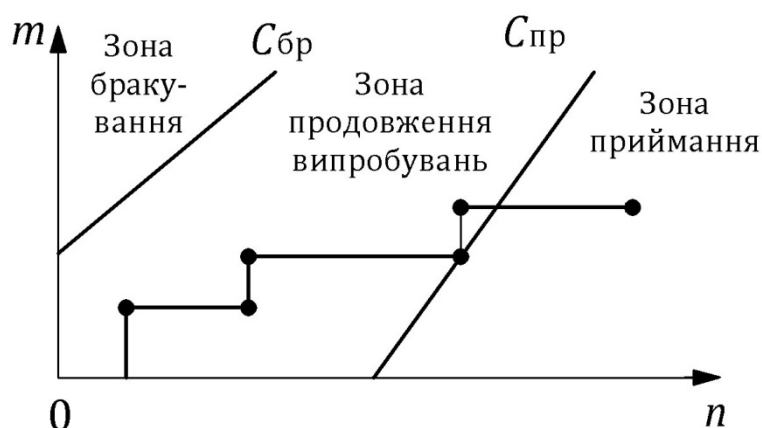


Рисунок 5.2 – Контроль якості за допомогою методу послідовного аналізу

Значення  $q_1$ ,  $q_2$ ,  $p$  приймають, використовуючи попередні дані про контрольовані вироби.

У таблицях 5.1–5.3 наведено приймальні та бракувальні числа, вибірки коду якості різних обсягів вибірок для одноступеневого та двоступеневого контролю.

Таблиця 5.1 – Одноступеневий нормальний контроль

Позначення обсягу вибірки	Обсяг вибірки	Приймальні й бракувальні числа за приймальним рівнем якості, % та коди показника якості																	
		1,0		1,5		2,5		4,0		6,5		10,0		15,0		25,0		40,0	
		31	32	33	34	35	36	37	38	39									
01	2	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	1	3	2	3
02	3	0	1	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4
03	5	0	1	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6
04	8	0	1	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8
05	13	0	1	0	1	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11
06	20	1	2	1	2	1	2	2	3	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15
07	32	1	2	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22
08	50	1	2	1	2	3	4	5	6	7	8	10	11	14	15	21	22	21	22

Таблиця 5.2 – Вибірki оперативних характеристик для коду їх обсягу

<i>P</i> , %	Приймальний рівень якості				
	0,65	2,50	4,00	6,50	10,00
	Частина дефектних одиниць, %				
90	0,525	2,690	5,640	9,030	16,600
75	1,430	4,810	8,700	12,800	21,600
50	3,410	8,250	13,100	18,100	27,900
25	6,700	12,900	18,700	24,200	34,800
10	10,900	18,100	24,500	30,400	41,500
5	13,900	21,600	28,300	34,400	43,600

Таблиця 5.3 – Двоступеневий нормальний контроль

Кодове позначення обсягу вибірки	Обсяг вибірки	Приймальні й бракувальні числа за приймальним рівнем якості, % та коди показника якості																	
		1,0		1,5		2,5		4,0		6,5		10,0		15,0		25,0		40,0	
		31	32	33		34		35		36		37		38		39			
04	5	—	—	—	—	—	—	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7
	5	—	—	—	—	—	—	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9
05	8	—	—	—	—	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9
	8	—	—	—	—	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	11	13
06	13	—	—	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11
	13	—	—	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19
07	20	0	2	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	12	11	18
	20	1	2	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27
08	32	0	2	0	3	1	4	2	5	3	7	5	9	7	11	11	16	11	16
	32	1	2	3	4	4	5	6	7	8	9	12	13	18	19	26	27	26	27

### 5.3 Собівартість вихідного контролю

Економічне оцінювання вхідного контролю дає змогу отримати співвідношення вартості контролю виробів, що надходять, і витрат для заміни бракованих елементів. Таким чином вирішується питання щодо доцільності застосування того чи іншого виду вихідного контролю. Такий контроль доцільно застосувати щодо виробів газового обладнання й трубопровідних систем, які не забезпечують надійності параметрів виготовлення й ремонту.



Введемо поняття повної собівартості, під якою будемо розуміти суму витрат на вхідний контроль і усунення бракованих елементів.

Визначення повної собівартості надамо для трьох можливих практичних випадків [19, 23, 26].

За відсутності вхідного контролю повна собівартість дорівнює вартості робіт щодо усунення бракованих елементів, які потрапляють в апаратуру. Вона дорівнює добутку кількості браку в партії деталей та цехових витрат на показник вилучення бракованої деталі із зібраного виробу та заміну її справною деталлю:

$$C'_0 = P \cdot N \cdot C_R, \quad (5.5)$$

де  $P$  – частка або ймовірність браку деталей, що надходять;

$C_R$  – витрати на заміну однієї деталі;

$N$  – загальна кількість деталей.

У разі застосування стовідсоткового контролю повна вартість буде дорівнювати сумі витрат на контроль і заміну бракованих деталей.

Кількість пропущених деталей визначається кваліфікацією контролера та якістю контрольно-вимірювальної апаратури.

Повна собівартість у цьому разі визначається за таким рівнянням:

$$C''_0 = N \cdot C_T + K_1 \cdot P \cdot N \cdot C_R, \quad (5.6)$$

де  $C_T$  – вартість контролю однієї деталі;

$K_1$  – частка браку, пропущеного під час стовідсоткового контролю.

У разі застосування вибіркового контролю повна собівартість включає два складники:

– вартість приймання партії деталей на підставі вибірки, яка може бути представлена таким виразом:

$$C = P_A [nC_T + (N - n)PC_R + nK_2PC_R], \quad (5.7)$$

де  $nC_T$  – вартість контролю вибірки, що складається з  $n$  деталей;

$(N - n)PC_R$  – вартість заміни бракованих деталей з неперевіреної частини партії;

$nK_2PC_R$  – вартість заміни бракованих деталей з перевіреної частини партії (вибірки), пропущених контролером;

$P_A$  – ймовірність приймання партії;

– вартість відбракованої партії, яка дорівнює вартості контролю відібраних деталей, помноженій на ймовірність відбракування  $(1 - P_A)$ .

Вираз для очікуваної повної вартості відбракованих партій має такий вигляд:

$$\frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A}. \quad (5.8)$$

У разі вибіркового контролю повна собівартість визначається за таким виразом:

$$C_0''' = P_A \cdot [n \cdot C_T + (N - n) \cdot P \cdot C_R + n \cdot K_2 \cdot P \cdot C_n] + \frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A}. \quad (5.9)$$

Використовуючи отримані рівняння, можна побудувати графіки повної вартості контролю залежно від якості партії, що характеризується величиною  $P$ , тобто часткою браку.

Графіки повної вартості контролю наведено на рисунку 5.3.

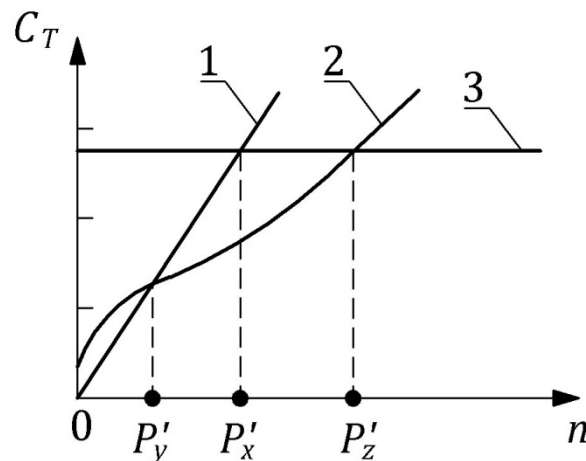


Рисунок 5.3 – Графіки повної залежності різних методів контролю:

1 – відсутність входного контролю; 2 – вибіркового контролю;  
3 – стовідсоткового контролю

Графік повної вартості для стовідсоткового контролю є майже горизонтальною прямою лінією, що дещо знижується залежно від значення  $K, P$ .

Графік повної вартості за відсутності входного контролю комплектуючих деталей є похилою лінією, що проходить через початок координат [28, 37].

Якщо  $P$  дорівнює нулю повна вартість теж дорівнює нулю, а з погіршенням якості комплектуючих повна вартість зростає лінійно. Інтенсивність браку повної вартості обумовлюється загальною кількістю деталей і рівнем витрат на їхню заміну.

Графік повної собівартості для вибіркового контролю є нелінійним. Якщо  $P$  дорівнює нулю, вартість визначається за значеннями  $nC_T$ , у разі зростання  $P$  вона зростає, але менш інтенсивно, ніж за відсутності контролю.

За графіками повної вартості можна визначити оптимальний щодо вартості варіант контролю.

Спосіб контролю комплектуючих визначатиметься за розміром партії  $n$  і часткою браку  $P$ , наявного в цій партії, а також за іншими параметрами, які можуть або бути задані, наприклад  $C$  та  $C_R$ , або бути функцією від  $N$  чи  $P$ , наприклад  $n$  чи  $P_A$ .

Частка браку  $P$  зазвичай є невідомою до перевірки партії, тому під час оцінювання цієї величини потрібно орієнтуватися на статистичні дані, отримані раніше.

Оптимальну оцінку контролю можна також отримати за допомогою аналітичного способу, без графічних побудов. Для цього визначають критичні точки, тобто такі точки, у яких одна схема контролю є дешевшою за іншу. Позначимо ці критичні точки через  $P'_x, P'_y, P'_z$ .

За відсутності контролю та за стовідсоткового контролю критична точка  $P'_x$  перетину кривих повної вартості визначається з рівняння:

$$P' \cdot N \cdot C_R = N \cdot C_T + K_1 \cdot P' \cdot N \cdot C_R, \quad (5.10)$$

тобто

$$P'_x = \frac{C_T}{C_R \cdot (1 - K_1)}. \quad (5.11)$$

Стовідсотковий контроль буде економнішим, якщо рівень якості деталей  $P'$ , що надходять, більше за значення  $P'_x$ , і навпаки, якщо  $P' < P'_x$ , економнішою є відсутність контролю.

За відсутності вхідного контролю та у разі застосування вибіркового контролю критична точка  $P'_y$  перетину кривих повної вартості визначається за рівнянням:

$$P' \cdot N \cdot C_R = P_A \cdot [n \cdot C_T + (N - n) \cdot P' \cdot C_R + 0 + K_2 \cdot n \cdot P' \cdot C_R] + \frac{n \cdot C_T \cdot (1 - P_A)}{P_A}, \quad (5.12)$$

тобто

$$P'_y = \frac{n \cdot C_T}{C_R \cdot [N - P_A \cdot (N - n + n \cdot K_2)]}. \quad (5.13)$$

Імовірність приймання партії  $P_A$  виражається у функції  $P'$  і  $n$  і може бути визначена з урахуванням формули Пуассона:

$$P_r = \frac{(n \cdot P')^r}{r!} \cdot e^{-n \cdot P'}, \quad (5.14)$$

де  $n$  – кількість вибраних для контролю деталей;

$P'$  – відсоток браку;

$P_r$  – імовірність того, що серед оброблених деталей буде  $r$  бракованих.

Очевидно, що  $P'_y$  необхідно обчислювати відповідно до конкретного плану розглядуваної вибірки з огляду на те, що для кожного плану вибірки значення  $P_A$  будуть різними.

Порядок визначення  $P'_y$  є таким:

1) розробляють план вибірки, встановлюють кількість вироблених деталей  $n$ , розмір партії  $N$  і критерій приймання  $AC$ , під яким розуміють мінімальну допустиму кількість забракованих деталей серед деталей, відібраних для контролю.

Значення  $P_A$ , що співвідносяться з будь-яким значенням  $AC$ , можна отримати з таблиць розподілу Пуассона, беручи до уваги передбачуване значення  $P' \cdot P_A$ . Воно дорівнює сумі всіх  $P_r$ , майже до  $r = AC$ ;

2) визначають  $P'_y$ , беручи до уваги здобуте значення  $P_A$ ;

3) перевіряють економність: відсутність вхідного контролю буде економнішою у разі, якщо передбачуване значення  $P'$ , буде меншим за  $P'_y$ . Якщо  $P' > P'_y$ , то більш економнішим є спосіб вибіркового контролю.

У разі застосування стовідсоткового й вибіркового контролів критична точка  $P'_z$  перетину кривих повної вартості визначається з рівняння:

$$\begin{aligned} N \cdot C_r + K_1 \cdot P' \cdot N \cdot C_R &= \\ &= P_A \cdot [n \cdot C_r + (N - n) \cdot P' \cdot C_R + K_2 \cdot n \cdot P' \cdot C_R] + \frac{n \cdot C_r \cdot (1 - P_A)}{P_A}, \end{aligned} \quad (5.15)$$

звідси

$$P'_z = \frac{P_A \cdot C_T \cdot [N - P_A \cdot n + n] - n \cdot C_r}{P_A^2 \cdot C_R \cdot [(N - n) + K_2 \cdot n] - P_A \cdot C_R \cdot K_1 \cdot N}. \quad (5.16)$$

Значення  $P'_z$  отримують так само, як і в попередньому разі. Якщо значення  $P'$  є меншим за передбачуване значення  $P'_z$ , то економнішим є метод вибіркового контролю. Якщо  $P' > P'_z$ , то економнішим буде метод стовідсоткового контролю [6, 32].

## 5.4 Приклади розв'язання задач

### Задача 1

Під час контролю вибірки обсягом  $N = 10\,000$  шт. жоден з виробів не був бракованим. Визначити мінімальний обсяг вибірки, щоб із надійною ймовірністю  $\beta = 0,9$  вважати, що за відсутності у вибірці бракованих виробів ймовірність виходу придатних буде не нижчою за 0,95.

#### Розв'язання

Визначимо обсяг вибірки  $n$ , щоб з ймовірністю  $\beta = 0,95$  можна було б вважати, що невідома ймовірність браку міститься в довірчому інтервалі  $I_\beta^Q(Q_1 = 0; Q_2 = 0,05)$ .

Рівень значущості

$$\alpha = 1 - \beta = 1 - 0,9 = 0,1.$$

Мінімальний обсяг вибірки

$$n_{\min} = \frac{-\lg \alpha}{Q_2} = \frac{2,3026}{0,05} = 46.$$

Результати розрахунку дають змогу зробити висновок про те, що достатньо перевірити 46 виробів, щоб із надійною ймовірністю  $\beta = 0,9$  вважати, що ймовірність браку у партії буде не більше ніж 0,05.

### Задача 2

Обрати метод вхідного контролю вентилів у процесі складання (стовідсотковий, вибіркового або відсутність контролю) за таких вихідних даних: витрати на заміну одного вентиля – 0,02 грн; загальна кількість вентилів – 1000 шт.; вартість контролю одного вентиля – 0,01 грн; частка браку, допустима у випадку стовідсоткового контролю, – 0,001; обсяг вибірки – 20 шт.; частка браку, допустима у випадку вибіркового контролю – 0,01; ймовірність приймання партії – 0,994; вартість одного вентиля – 0,1 грн.

### Розв'язання

Критичну точку  $P'_x$  перетину кривих повної вартості за відсутності контролю та в разі стовідсоткового контролю визначається за формулою:

$$P'_x = \frac{C_T}{C_R \cdot (1 - K_1)},$$

де  $C_T$  – вартість контролю одного вентиля;

$C_R$  – витрати на заміну одного вентиля;

$K_1$  – частка браку, допустима у разі стовідсоткового контролю;

$$P'_x = \frac{0,01}{0,02 \cdot (1 - 0,001)} = 0,5005.$$

Критична точка  $P'_y$  перетину кривих повної вартості за відсутності контролю та в разі вибіркового контролю визначається за виразом:

$$P'_y = \frac{n \cdot C_T}{C_R \cdot [N - P_A \cdot (N - n + n \cdot K_2)]},$$

де  $N$  – загальна кількість вентилів;

$P_A$  – імовірність приймання партії;

$K_2$  – частка браку, допустима в разі вибіркового контролю;

$n$  – обсяг вибірки;

$$P'_y = \frac{20 \cdot 0,01}{0,02 \cdot [1000 - 0,99 \cdot (1000 - 20 + 20 \cdot 0,01)]} = 0,35.$$

Критична точка  $P'_z$  перетину кривих повної вартості у разі стовідсоткового та вибіркового контролю визначається за виразом:

$$P'_z = \frac{P_A \cdot C_T \cdot [N - P_A \cdot n + n] - n \cdot C_r}{P_A^2 \cdot C_R \cdot [(N - n) + K_2 \cdot n] - P_A \cdot C_R \cdot K_1 \cdot N},$$

де  $C_r$  – вартість бракованих вентилів;

$$P'_z = \frac{0,99 \cdot 0,01 \cdot [1000 - 0,99 \cdot 20 + 20] - 20 \cdot 0,1}{0,99^2 \cdot 0,02 \cdot [980 + 0,01 \cdot 20] - 0,99 \cdot 0,02 \cdot 0,001 \cdot 1000} = 0,412.$$

### *Аналіз результатів*

За розрахунками встановлено, що повна вартість контролю, тобто сума витрат на вхідний контроль і на усунення бракованих виробів газового обладнання й трубопровідних систем, обумовлюється часткою або ймовірністю браку серед виробів, що надійшли, і становить  $P$ .

За ймовірності  $P > P_x = 0,5$  економічно доцільно застосувати стовідсотковий контроль; за ймовірності  $P'_z = 0,4 < P < P'_x = 0,5$  – не проводити вхідний контроль.

### **5.5 Задача для самостійного розв'язання**

Партію клапанів запірних обсягом 1000 шт. приймають у тому разі, якщо у вибірці обсягом  $n = 5$  немає жодного бракованого виробу. В іншому разі всю партію клапанів бракують. Визначити ймовірність виконання завдання, якщо відомо, що ця величина перебуває в межах  $0,956 \leq P \leq 1$ .

## 6 ТРАНСПОРТНО-СКЛАДСЬКІ СИСТЕМИ У ВИРОБНИЦТВІ ТА РЕМОНТІ ВИРОБІВ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ

### 6.1 Основні розрахункові співвідношення

Існує новий, простий і надійний метод визначення розрахункового значення складських запасів із використанням теорії ймовірностей і математичної статистики, що забезпечує технічну оптимізацію складських запасів і місткість складу. Сутність його полягає в тому, що розрахункове значення складських запасів вантажів  $I_n$  визначають як  $n$ -ну випадкову подію, котра є деяким сполученням випадкових величин прибуття  $Q^{\text{п}}$  та видачі  $Q^{\text{в}}$  вантажів:

$$I_n = I_0 + Q_i^{\text{п}} - Q_j^{\text{в}}, \quad (6.1)$$

де  $I_0$  – деякий страховий запас.

Імовірність того, що на складі утримуватиметься  $n$ -на величина вантажів  $I_n$ , визначається за формулою:

$$P(I = I_n) = P(Q_i^{\text{п}}) \cdot P(Q_i^{\text{в}}), \quad n = \overline{l, k_i}, \quad (6.2)$$

де  $P(Q_i^{\text{п}})$ ,  $P(Q_i^{\text{в}})$  – ймовірність того, що на склад прибуде  $Q_i^{\text{п}}$  вантажів, а зі складу буде видано  $Q_i^{\text{в}}$  вантажів.

Як вихідні дані для визначення розрахункової величини складських запасів вантажів задають розподіл величин прибуття та видачі вантажів (за добу, за зміну або за годину):

$$Q^{\text{п}} = \begin{bmatrix} Q_1^{\text{п}} & Q_2^{\text{п}} & \dots & Q_k^{\text{п}} \\ P(Q_1^{\text{п}}) & P(Q_2^{\text{п}}) & \dots & P(Q_k^{\text{п}}) \end{bmatrix}, \quad (6.3)$$

$$Q^{\text{в}} = \begin{bmatrix} Q_1^{\text{в}} & Q_2^{\text{в}} & \dots & Q_k^{\text{в}} \\ P(Q_1^{\text{в}}) & P(Q_2^{\text{в}}) & \dots & P(Q_k^{\text{в}}) \end{bmatrix}.$$

Величину страхового запасу вантажів  $I_0$  обирають такою, що дорівнює різниці максимальної величини видачі  $Q_{\text{max}}^{\text{в}}$  і мінімальної величини приймання вантажів  $Q_{\text{max}}^{\text{п}}$  за заданим розподілом цих величин:  $I_0 = Q_{\text{max}}^{\text{в}} - Q_{\text{min}}^{\text{п}}$  (для забезпечувальних складів),  $I_0 = Q_{\text{max}}^{\text{п}} - Q_{\text{min}}^{\text{в}}$  (для складів готової продукції) або задають як деякий незменшуваний запас (в особливих випадках):  $I_0 = I_{\text{н}}$ .



Рекомендовано обирати таку надійну ймовірність (надійність оцінки) визначення розрахункової величини складських запасів вантажів:  $[P] = 0,950$ . Це відповідає умові, що місткість складу може бути недостатньою тільки у п'яти відсотках випадків (або 13–18 днів за рік).

Використавши методологію теорії масового обслуговування запаси вантажів і місткість складу можна визначити без попереднього збирання статистичних даних за вантажопотоками прибуття й відправлення, а також оброблення цих матеріалів за допомогою методу математичної статистики.

Розроблено метод визначення місткості складу за допомогою математичної моделі «загибель та розмноження», що розроблена в біології на підставі математичного апарату теорії масового обслуговування й застосовується для визначення чисельності організмів.

Склад розглядається як багатоканальна система масового обслуговування, до того ж каналом обслуговування вважають місце для розташування деякої транспортної партії (вантаж з одного автомобіля, вагона, одне піддоння із заготовками тощо). «Відмова» – це подія, яка полягає в тому, що зона складування вантажів на складі повністю заповнена вантажами й наступну партію, яка надійшла, прийняти неможливо [30, 31, 34].

За «заявку», що передбачає «обслуговування», тобто розвантаження та приймання на склад, обирають транспортну партію вантажів.

Процес «обслуговування заявок» у розглядуваному випадку - це таке перебування вантажів на складі протягом середнього часу  $\bar{\tau}_{36}$ , за якого інтенсивність потоку обслуговування можна визначити за формулою:

$$\mu = \frac{1}{\bar{\tau}_{36}}. \quad (6.4)$$

Зона зберігання вантажів може перебувати в одному з таких станів  $W_i$ :  $W_0$  – на складі не зайняте жодне місце для вантажу (немає жодної транспортної партії);  $W_1$  – на складі є одна транспортна партія вантажу;  $W_2$  – на складі є дві транспортні партії вантажу;  $W_3$  – на складі є три транспортні партії вантажу;  $W_k$  – на складі знаходиться  $k$  транспортних партій ( $k$  місць зайнято, інші,  $n-k$  місць вільні);  $W_n$  – у складі знаходиться  $n$  транспортних партій (усі  $n$  місць у зоні зберігання зайняті, вільних місць немає).

Розмічений граф станів і переходів складської системи з одних станів в інші для такої постановки завдання подано на рисунку 6.1, а.

З кожного  $i$ -го стану в інший, що знаходиться праворуч від нього за графом станів, тобто в  $(i + 1)$  стан, система переходить з інтенсивністю  $\lambda$  – у той

момент, коли до зони зберігання надходить наступна транспортна партія. Перехід складської системи з кожного  $i$ -го стану ліворуч за графом станів, тобто в  $(i - 1)$  стан, відбувається з інтенсивністю  $k\mu$ , де  $k$  – кількість зайнятих місць складування в  $i$ -му стані (рис. 6.1, б).

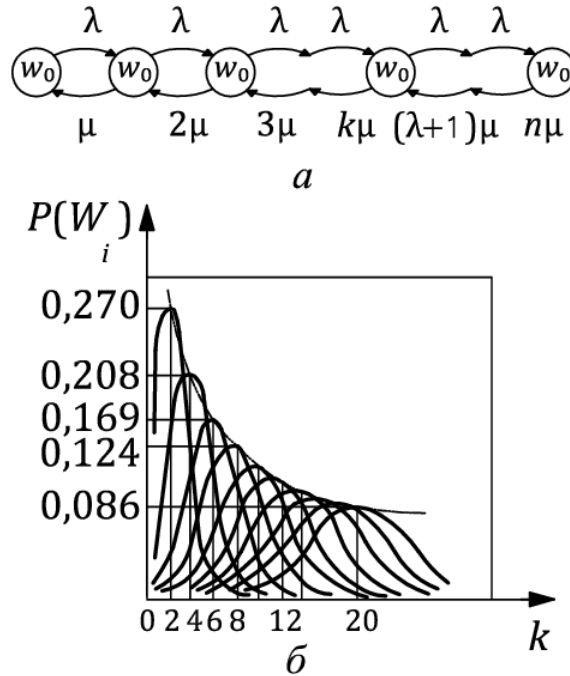


Рисунок 6.1 – Стан складської системи за ступенем завантаженості зони зберігання транспортними партіями вантажів:  $a$  – розмічений граф станів;  $b$  – графіки розподілу кількостей транспортних партій, що фактично зберігаються

Відповідно до методики теорії масового обслуговування, ймовірність того, що вся зона складування вантажів буде вільною (на складі не зайняте жодне місце для зберігання), можна визначити за формулою:

$$P(W_0) = \left( 1 + \frac{\lambda}{\mu} + \frac{\lambda^2}{2\mu^2} + \frac{\lambda^3}{2 \cdot 3\mu^3} + \dots + \frac{\lambda^k}{k\mu^k} + \dots + \frac{\lambda^n}{n\mu^n} \right)^{-1}, \quad (6.5)$$

або, беручи до уваги попередню формулу (6.4):

$$P(W_0) = \left( 1 + \lambda \bar{\tau}_{36} + \frac{1}{2} \lambda^2 \bar{\tau}_{36}^2 + \frac{1}{2 \cdot 3} \lambda^3 \bar{\tau}_{36}^3 + \dots + \frac{1}{k} \lambda^k \bar{\tau}_{36}^k + \dots + \frac{1}{n} \lambda^n \bar{\tau}_{36}^n \right)^{-1}, \quad (6.6)$$

де  $\lambda$  – інтенсивність вантажопотоку, що надходить.

Імовірність того, що на складі перебуватиме тільки одна транспортна партія ( $k = 1$ ), визначимо так:

$$P(W_1) = \frac{\lambda}{\mu} P(W_0) \Rightarrow P(W_1) = \lambda \bar{\tau}_{36} P(W_0). \quad (6.7)$$

Ймовірність того, що на складі перебуватимуть дві транспортні партії ( $k=2$ ):

$$P(W_2) = \frac{\lambda^2}{2\mu^2} P(W_0) \Rightarrow P(W_2) = \frac{\lambda^2 \bar{\tau}_{36}^2}{2} P(W_0). \quad (6.8)$$

Ймовірність того, що на складі перебуватиме  $k$  транспортних партій ( $k < n$ ):

$$P(W_k) = \frac{\lambda^k}{k\mu^k} P(W_0) \Rightarrow P(W_k) = \frac{\lambda^k \bar{\tau}_{36}^k}{k} P(W_0). \quad (6.9)$$

Ймовірність того, що зона зберігання вантажів буде заповнена повністю, тобто у ній знаходиться  $n$  транспортних партій:

$$P(W_n) = \frac{\lambda^n}{n\mu^n} P(W_0) \Rightarrow P(W_n) = \frac{\lambda^n \bar{\tau}_{36}^n}{n} P(W_0). \quad (6.10)$$

Далі можна визначити ймовірність того, що зона складування вантажів заповнена неповністю і нова партія вантажів може бути прийнята на склад:

$$P(k < n) = 1 - \frac{\lambda^k \bar{\tau}_{36}^k}{k} P(W_0). \quad (6.11)$$

Визначаючи середній запас вантажів на складі ( $I = \lambda \bar{\tau}_{36}$ ), формулу (6.6) для ймовірності того, що зона зберігання вантажів зовсім порожня, можна записати у такому спрощеному вигляді:

$$P(W_0) = \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{I^k}{k}}, \quad (6.12)$$

а ймовірність (6.4) того, що на складі буде вільне місце для приймання вантажів, можна записати так:

$$P(k < n) = 1 - \frac{I^k}{k} \cdot \frac{1}{1 + \sum_{k=1}^n \frac{I^k}{k}}. \quad (6.13)$$

Згідно з дослідженням Маклорана, ряд вигляду

$$1 + \frac{x}{1} + \frac{x^2}{2} + \frac{x^3}{3} + \dots + \frac{x^n}{n} + \dots \quad (6.14)$$

за досить великого значення  $n$  приблизно дорівнює (наближається) функції  $e^x$ .

Заміняючи ряд Маклорана, позначений у знаменнику як функція  $e^I$ , отримаємо:

$$P(W_0) = \frac{1}{e^I} \Rightarrow P(W_0) = e^{-I}. \quad (6.15)$$

Отже, формули (6.9) і (6.11) можна записати в такому вигляді:

$$P(W_k) = \frac{I^k}{k} e^{-I}; \quad (6.16)$$

$$P(k < n) = \frac{I^k}{k} e^{-I}. \quad (6.17)$$

Розподіли завантаження зони зберігання вантажів, що розраховані за формулою (6.16), наведеною на рисунку 6.1, б, за яким зрозуміло, що середній запас вантажів на складі ( $I = \lambda, \tau_{36}$ ) співвідноситься з найімовірнішим запасом. Однак він може бути перевищений, і в цьому разі місткість складу буде недостатньою.

Для практичного використання методу визначення місткості складу побудовано графіки інтегральних функцій розподілу (рис. 6.2):

$$\Phi(W_k) = \sum_{k=1}^n e^{-I}. \quad (6.18)$$

Для складів з різними вантажопотоками ці графіки дають змогу визначити необхідну місткість із заданою надійною ймовірністю  $[P]$ .

Під час проведення розрахунків, коли розміри певних вантажів невідомі, особливо дрібних вантажів, розміри яких у 10–12 разів менші за розміри піддонів, місткість піддону (маса вантажу на піддоні подається в тоннах) визначають за формулою:

$$G = abcf_{\gamma} \gamma, \quad (6.19)$$

де  $a$ ,  $b$  і  $c$  – відповідно довжина (довжина уздовж проходу), ширина (ширина впоперек проходу) і висота вантажного складника (висота укладання вантажу на піддоні), м;

$\gamma$  – об'ємна маса вантажу, т/м<sup>3</sup>.

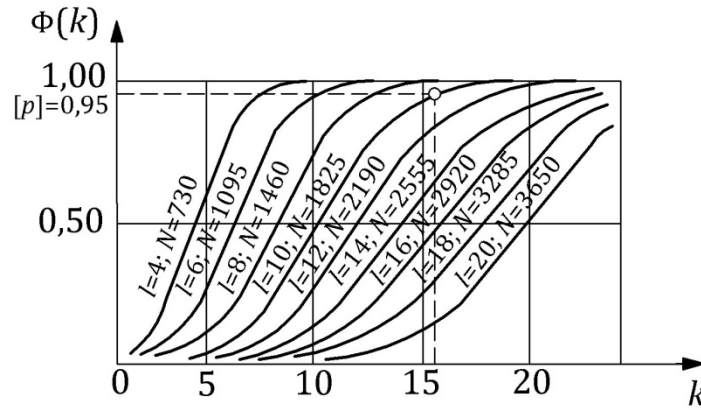


Рисунок 6.2 – Залежність інтегральної функції розподілу  $\Phi(k)$  від кількості транспортних партій  $k$ , що зберігаються на складі, за різного ступеня завантаженості складу  $I = 2, 4, 6, \dots, k$  транспортних партій і річних вантажопотоків  $N$  партій за рік

Коли відомі розміри вантажів ( $\alpha, \beta, \delta$ ) і їхня маса ( $g$ ), місткість піддонів (маса вантажу у піддонні виражена в тоннах) визначаються за формулою:

$$G = abcf_{\gamma} g / (\alpha\beta\delta). \quad (6.20)$$

Висоту укладання вантажу на піддонах ( $c$ ) приймають максимальною для такого типу піддонів або визначають за формулою:

$$c = \frac{D - h_{\text{нi}}}{z - 1} - y - \Delta, \quad (6.21)$$

де  $D$  – висота підйомного вантажозахоплювача штабелювальної машини, м;

$h_{\text{н}}$  – висота нижнього ярусу над підлогою складу, м (у разі встановлення нижніх піддонів на підлогу  $h_{\text{н}} = 0$ );

$z$  – кількість ярусів за висотою стелажів або штабелю;

$e$  – відстань між вантажами за висотою, м;

$\Delta$  – власне товщина піддонів або висота його ніжок, м.

У разі точніших розрахунків кількість вантажів ( $k$ ), що вміщується на піддоні, визначають за допомогою методу теоретичного укладання вантажів, а навантаження на піддоні обчислюють за формулою:

$$G_i = K_i g_i, \quad i = 1, 2, \dots, k, \quad (6.22)$$

де  $g_i$  – маса одного місця вантажу  $i$ -ї групи, т;

$k$  – загальна кількість груп вантажів у номенклатурі.

Кількість вантажів, що вміщуються на піддоні за методом теоретичного укладання, визначають за ескізами й розрахунками, які виконуються на підставі відомих розмірів вантажів  $\alpha, \beta, \delta$  і піддонів  $a, b, c$ .

Теоретичне розкладання вантажів на піддоні найзручніше виконувати за допомогою розрахункового методу шляхом використання простих моделей – формул, що базуються на взаємних співвідношеннях розмірів вантажів і піддонів.

Наприклад, математична модель розкладання вантажів способом № 1 (вантажі розкладаються довгою стороною вздовж довжини піддона, а короткою – уздовж його ширини) має такий вигляд:

$$K_1 = \varepsilon\left(\frac{a}{\alpha}\right)\varepsilon\left(\frac{b}{\beta}\right)\varepsilon\left(\frac{c}{\delta}\right), \quad (6.23)$$

де  $K_1$  – кількість одиниць вантажів, що вміщуються в цьому піддоні в разі укладання їх способом № 1.

Вираз  $\varepsilon(\dots)$  є елементарною функцією, яка означає цілу частину числа, отриманого внаслідок виконання дій у лапках (позначення з алгоритмічної мови).

Математична модель розкладання вантажів способом № 2 (вантажі розташовуються довгою стороною вздовж ширини піддона, а короткою – вздовж його довжини) має такий вигляд:

$$K_2 = \varepsilon\left(\frac{a}{\beta}\right)\varepsilon\left(\frac{b}{\alpha}\right)\varepsilon\left(\frac{c}{\delta}\right), \quad (6.24)$$

де  $K_2$  – кількість одиниць вантажів, що вміщуються на піддоні в разі укладання їх способом № 2.

## 6.2 Приклади розв’язання задач

### *Задача 1*

Скласти систему диференціальних рівнянь для аналізу стану складської системи, можливі стани якої наведено в таблиці 6.1 [32].

### *Розв’язання*

Випадковий процес функціонування складської системи з дискретними станами можна подати у вигляді геометричної схеми – графу станів (рис. 6.3). Вершини графу становлять стани складської системи, а дуги – її переходи з одних станів в інші.

Таблиця 6.1 – Характеристика складської системи

Номер стану	Опис стану	Позначення	Операція		Імовірності станів
			розвантаження	завантаження	
1	На складі не проводяться ніякі роботи	$W_1$	0	0	$P(W_1)$
2	Виконується тільки розвантаження транспорту	$W_2$	1	0	$P(W_2)$
3	Виконується тільки завантаження транспорту	$W_3$	0	1	$P(W_3)$
4	Одночасно виконується завантаження й розвантаження транспорту	$W_4$	1	1	$P(W_4)$

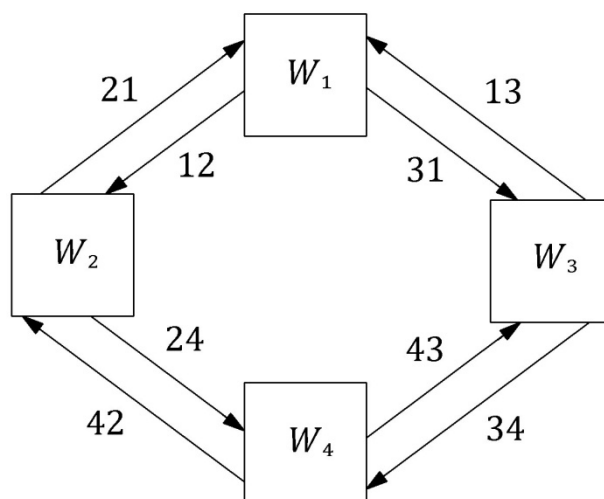


Рисунок 6.3 – Граф стану складської системи

Визначимо інтегральну функцію розподілу (накопичену ймовірність) (табл. 6.2).

Таблиця 6.2 – Інтегральна функція розподілу

$I$	0	30	40	70	80	120
$\Phi(I)$	0,07	0,28	0,41	0,80	0,87	1,00

З таблиці 6.2 зрозуміло, що задана довірна ймовірність складських запасів  $[P]$  дорівнює 0,95 і потрапляє в останній інтервал накопичених ймовірностей:

$$0,87 < [P] = 0,95 < 1,00.$$

Отже, розрахункову величину складських запасів знаходимо в інтервалі  $I^* \in [80, 120]$ , визначаючи її за формулою лінійної інтерполяції:

$$I^* = \frac{0,95 - 0,87}{1,00 - 0,87} \cdot (120 - 80) + 80 = 105.$$

Отже, склад має бути розрахований на 105 одиниць транспортно-складської тари.

### *Задача 2*

Визначити розрахунковий запас збереження вантажів для складу з наступним розподілом прибуття  $Q^{\text{п}}$  та видання вантажів  $Q^{\text{в}}$ :

$$Q^{\text{п}} = \begin{pmatrix} 120 & 150 & 200 \\ 0,20 & 0,60 & 0,20 \end{pmatrix}; \quad Q^{\text{в}} = \begin{pmatrix} 140 & 180 \\ 0,65 & 0,35 \end{pmatrix},$$

де 120, 150, 200, 140, 180 – кількість завантажених ящиків піддонів з деталями, що приймаються та видаються зі складу за зміну;

0,20, 0,60, 0,20, 0,65, 0,35 – відповідні ймовірності прибуття та видання таких компонентів вантажу.

### *Розв'язання*

Визначимо страховий запас

$$I_{\text{с}} = Q_{\text{max}}^{\text{в}} - Q_{\text{min}}^{\text{п}};$$

$$I_{\text{с}} = 180 - 120 = 60 \text{ завантажених піддонів.}$$

Приймаємо довірчу ймовірність  $[P] = 0,950$ .

Сполучення вантажопотоків:

– перший запас:

$$f_1 = 60 + 120 - 140 = 40,$$

імовірність запасу

$$P(I = 40) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,13;$$

– другий запас:

$$f_2 = 60 + 120 - 180 = 0,$$

імовірність запасу

$$P(I = 0) = 0,20 \cdot 0,35 = 0,07;$$

– третій запас:

$$f_3 = 60 + 150 - 140 = 70,$$

імовірність запасу

$$P(I = 70) = 0,60 \cdot 0,65 = 0,39;$$



– четвертий запас:

$$f_4 = 60 + 150 - 180 = 30,$$

імовірність запасу

$$P(I = 30) = 0,60 \cdot 0,35 = 0,21;$$

– п'ятий запас:

$$f_5 = 60 + 200 - 140 = 120,$$

імовірність запасу

$$P(I = 120) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,13;$$

– шостий запас:

$$f_6 = 60 + 200 - 180 = 80;$$

імовірність запасу

$$P(I = 80) = 0,20 \cdot 0,65 = 0,07.$$

Перевіримо нормувальну умову, за якою сума імовірностей усіх подій, що утворюють групу, повинна дорівнювати одиниці:

$$\sum^6 1P_j = 0,13 + 0,07 + 0,39 + 0,21 + 0,13 + 0,07 = 1,00.$$

Нормувальна умова зберігається отже, отримуємо такий розподіл запасів вантажів на складі:

$$I = \begin{pmatrix} 0 & 30 & 40 & 70 & 80 & 120 \\ 0,07 & 0,21 & 0,13 & 0,39 & 0,07 & 0,13 \end{pmatrix}.$$

Визначимо інтегральну функцію розподілу (накопичувальну імовірність) (табл. 6.3).

Таблиця 6.3 – Інтегральна функція розподілу

$I$	0	30	40	70	80	120
$\Phi(I)$	0,07	0,28	0,41	0,80	0,87	1,00

Зрозуміло, що задана довірча імовірність складських запасів  $[P]$  дорівнює 0,95 і потрапляє в останній інтервал накопичуваних імовірностей:

$$0,87 < [P] = 0,95 < 1,00.$$

Отже, розрахункову кількість складських запасів шукаємо в інтервалі  $I^* \in [80, 120]$ , визначаючи її за формулою лінійної інтерполяції:

$$I^* = \frac{0,95 - 0,87}{1,00 - 0,87} \cdot (120 - 80) + 80 = 105.$$

Робимо висновок, що, склад повинен бути розрахований на 105 одиниць транспортно-складської тари.

### 6.3 Задачі для самостійного розв'язання

#### *Задача 1*

Визначити місткість складу виробничої системи виготовлення вентилів з надійною ймовірністю  $[P] = 0,950$  за річного вантажопотоку  $N = 1825$  партій/рік і середньої кількості вантажів, що зберігаються на складі, 10 партій ( $I = 10$ ).

#### *Задача 2*

Розкласти вантажі з такими розмірами:  $\alpha = 0,35$  м,  $\beta = 0,28$  м,  $\delta = 0,25$  м у вантажні складські одиниці, які мають такі розміри:  $a = 1,2$  м,  $b = 0,8$  м,  $c = 0,65$  м.

## **7 ТЕХНІКО-ЕКОНОМІЧНА ЕФЕКТИВНІСТЬ РЕМОНТНО-ВІДНОВЛЮВАЛЬНИХ РОБІТ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ Й ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ**

### **7.1 Техніко-економічне обґрунтування вибору раціонального способу ремонту**

Газове обладнання й газотранспортні трубопровідні системи, а також споруди на них постійно вдосконалюються. Так, сучасні газонапірні агрегати газотранспортних систем можуть витримувати усі зростальні тиски. Температура газу в турбінах збільшується, ускладнюються системи регулювання й автоматики. Усе це підвищує вимоги до технічного стану трубопроводів. У низці випадків газове обладнання експлуатується, незважаючи на закінчення термінів використання. Ринкові умови, в яких працює газова промисловість, змушують інтенсивно експлуатувати все газове обладнання, тобто простоювання зводяться до мінімуму. Невеликі технічні простоювання газового обладнання спричиняються його ремонтом, тому найважливішим економічним завданням є зменшення календарного часу надходження газового обладнання й трубопровідних систем на ремонт. Такі жорсткі терміни ремонту передбачають відповідну організацію всієї системи планування також й організації ремонту.

Необхідно забезпечувати своєчасність замовлень і надходження необхідних для ремонту запасних частин, високу злагодженість роботи цехів і служб ремонтно-механічних підприємств.

Важливість перелічених завдань є очевидною, оскільки понаднормативне надходження газового обладнання на ремонт призводить до порушення функціонування газотранспортної системи.

Вимоги щодо зниження собівартості експлуатації газового обладнання означають необхідність зниження вартості ремонту –  $C_i$ , де  $i$  – номер ремонту. Відомо, що збільшення міжремонтного ресурсу  $T_{p(i+1)}$  знижує собівартість одиниці часу експлуатації. Таким чином, зниження вартості часу обумовлюється співвідношенням  $C_i/T_{p(i+1)}$ . Інакше кажучи, підвищення надійності техніки означає зниження собівартості транспортування енергоносіїв [44].

Несправності та відмови можуть бути усувними в умовах експлуатації та неусувними, вони спричиняють необхідність ремонту або списання. Усувні несправності й відмови спричиняються втрати, обумовлені витратами

на їхнє усунення й додаткове простоювання обладнання. Якість ремонту впливає на інтенсивність потоку усувних відмов та несправностей. Що нижча якість ремонту, то вища інтенсивність потоку усувних відмов. Це означає, що зниження витрат на ремонт і зменшення календарної тривалості ремонту супроводжується підвищенням якості ремонту, інакше позірне зниження витрат на ремонт обернеться підвищеними втратами в процесі експлуатації усього газового комплексу країни.

На лопаті газової турбіни в процесі експлуатації з'являються різні дефекти у вигляді ушкоджень поверхневого шару пера, наклепів на стикових поверхнях бандажів, зношування бандажних полиць. Лопаті турбіни виготовляють з дорогого матеріалу, до того ж під час лиття іа виготовлення складних лопатей вихід придатних виробів невеликий і становить 15–20 %.

Процес ремонту лопатей турбіни (наприклад напилювання, укріплення замкової частини тощо) передбачає придбання складного обладнання, до того ж воно дуже дороге. Однак за вартістю, витратами енергетичних, матеріальних і трудових ресурсів ремонт становить приблизно 20 % витрат на виготовлення нової лопаті. Вартість ремонту складається із вартості постійних робіт, які пов'язані з ремонтом та заміною окремих несправних частин.

До постійних робіт належать монтажні й демонтажні роботи, перевірка й регулювання. Змінні витрати обумовлюються ресурсами окремих частин агрегату, певними несправностями. Очевидно, що зі збільшенням порядкового номера ремонту зростає кількість деталей, ресурс яких є вичерпним, тобто агрегатів, які необхідно відновити або замінити. Вартість ремонту при цьому збільшується.

Вартість виготовлення нового газового обладнання також не є постійною. Удосконалення технологій, підвищення продуктивності праці призводять до постійного зниження собівартості його виготовлення. Окрім цього, собівартість обладнання зменшується внаслідок морального старіння (рис. 7.1). На рисунку 7.1 точка *A* відповідає ситуації, коли вартість ремонту стає вищою за вартість нової машини. З графіка випливає, що ремонтувати газове обладнання більше трьох разів не має сенсу [6, 23, 28].

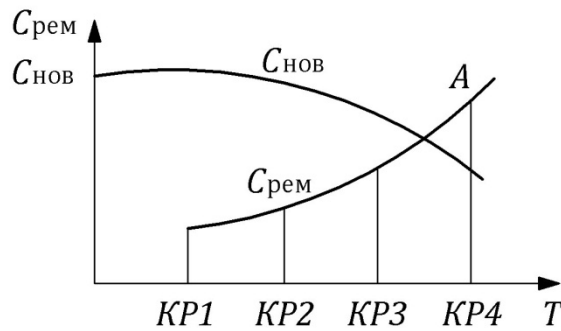


Рисунок 7.1 – Графік залежності змінювання вартості виготовлення нової машини  $C_{\text{нов}}$  відносно ремонту  $C_{\text{рем}}$  від часу експлуатації  $T$ :

$C_{\text{нов}}$  – вартість виробництва нової машини;  $C_{\text{рем}}$  – вартість ремонту;  
 $T$  – час експлуатації; KP1–KP4 – капітальні ремонти

Проведенню будь-яких ремонтно-відновлювальних робіт повинні передувати підготовчі роботи, зокрема техніко-економічні розрахунки щодо визначення їхньої економічної ефективності.

Критерій економічності визначають за нерівністю:

$$C_{\text{рем}} < C_{\text{т}}, \quad (7.1)$$

де  $C_{\text{рем}}$  – кошторисна вартість ремонту, необхідного для відновлення усіх зношених деталей та вузлів;

$C_{\text{т}}$  – вартість повного відтворення на момент визначення доцільності ремонту.

Однак в практиці експлуатації та ремонту газового обладнання й трубопровідних систем відомі випадки, коли з причини дефіцитності тих чи інших виробів ремонт проводиться зі умови  $C_{\text{рем}} \geq C_{\text{т}}$ .

Вибір раціонального способу відновлення деталей газового обладнання – одне з найскладніших завдань організації ремонту. Спосіб ремонту обумовлюється конструктивно-технологічними особливостями й умовами роботи деталей, величини їхнього зношування, експлуатаційних властивостей способів відновлення, які визначають ресурс відремонтованих деталей, а також вартістю їхнього ремонту.

Завдання техніко-економічного обґрунтування обраного способу ремонту вирішують в такій послідовності:

- 1) встановлюється технічна можливість відновлення деталі;
- 2) визначаються можливі способи відновлення вузлів, з'єднаних деталей: нарощування, роздача, обробка під ремонтний розмір, заміна частини газопроводу, використання додаткових деталей тощо;

3) за кожним з можливих способів відновлення проводяться техніко-економічні розрахунки;

4) обирається найвигідніший з усіх можливих способів відновлення.

Під час визначення доцільності ремонту тієї чи іншої деталі зазвичай керуються тим, що за однакових термінів використання відновленої й нової деталей співвідношення вартостей повинно задовольняти нерівності.

Загалом під економічно раціональним способом відновлення деталей, очевидно, потрібно розуміти такий спосіб, витрати на здійснення якого окупатимуться достатнім строком використання відновлених деталей.

Умови раціональності застосування того чи іншого способу відновлення можна подати аналітичним способом за допомогою нерівності:

$$\frac{C_{\text{н}}}{\tau_{\text{в}}} \leq \frac{C_{\text{н}}}{\tau_{\text{н}}}, \quad (7.2)$$

або

$$C_{\text{н}} \leq K_3 \cdot C_{\text{н}}, \quad (7.3)$$

де  $C_{\text{н}}$  – вартість виготовлення нової деталі;

$C_{\text{в}}$  – вартість відновлення зношеної деталі;

$\tau_{\text{н}}, \tau_{\text{в}}$  – терміни використання нової й відновленої деталей відповідно;

$K_3$  – коефіцієнт зносостійкості.

Якщо  $K_3 = 1$ , тобто довговічності нової і відновлюваної деталей однакові, раціональність застосування будь-якого зі способів або методів буде обумовлюватися тільки собівартістю відновлення [42].

Якщо  $K_3 > 1$ , раціональними можуть виявитися способи або методи відновлення з достатньо високою собівартістю. В окремих випадках, коли застосовуваний спосіб або метод відновлення не забезпечує необхідної довговічності порівняно з новою деталлю або вузлом за  $K_3 < 1$ , значення термінів використання  $\tau_{\text{н}}, \tau_{\text{в}}$  визначаються через величини межового зношування деталі, вузла до інтенсивності їхнього зношування:

$$\tau_{\text{н}} = \frac{I_{\text{н пр}}}{U_{\text{н}}}; \quad \tau_{\text{в}} = \frac{I_{\text{в пр}}}{U_{\text{в}}} \quad (7.4)$$

де  $I_{\text{н пр}}, I_{\text{в пр}}$  – величини межового зношування до та після відновлення деталі відповідно;

$U_{\text{н}}, U_{\text{в}}$  – інтенсивності зношування до та після відновлення деталі відповідно.

Підставляючи значення  $\tau_n$ ,  $\tau_b$  до вказаних вище виразів, отримаємо:

$$\frac{C_b U_b}{I_{b \text{ пр}}} \leq \frac{C_n U_n}{I_{n \text{ пр}}}. \quad (7.5)$$

Зважаючи на те, що для однієї чи іншої деталі під час її відновлення до початкових розмірів повинна виконуватися умова  $I_{n \text{ пр}} = I_{b \text{ пр}}$ . Ця умова раціональності відновлення деталей тим чи іншим способом може бути подана в такому вигляді:

$$C_b U_b \leq C_n U_n. \quad (7.6)$$

Отже, вибір способу або методу ремонту вважається раціональним, якщо величина  $C_b U_b$  для відновлюваної деталі не перевищує постійної величини  $C_n U_n$  для нової деталі.

## **8 ПРОЕКТУВАННЯ РЕМОНТНО-МЕХАНІЧНИХ ПІДПРИЄМСТВ ГАЗОЕНЕРГЕТИКИ**

### **8.1 Сучасні напрями розвитку ремонтно-механічних підприємств**

Розвиток ремонтно-механічних підприємств газової промисловості обумовлюється складністю робіт, виконуваних газовим обладнанням і системами транспортування енергоносіїв. Наприклад, енергетична безпека багатьох європейських країн пов'язана із надійністю газозбереження. Заплановано будівництво нових трубопроводів, насамперед для експортних цілей. Однак головне навантаження буде припадати на діючі системи, які значно «зістарилися». До 2000 року частка нафтопроводів, термін використання яких понад 20 років, становить 73 % і вище, 30 років – 41 %. Термін використання значної частини нафто- й газопроводів – понад 33 роки. І хоч термін використання чітко не визначено і є умовним, старіння трубопроводів призводить до збільшення ризиків під час експлуатації. Це пояснюється зниженням захисних властивостей ізолювальних покриттів, накопиченням та розвитком дефектів у трубах і зварювальних з'єднаннях, змінюванням напружено-деформованого стану, процесами старіння металу самих труб.

У системах протикорозійного захисту газопроводів частіше доводиться капітально ремонтувати базові деталі й вузли. Складними й трудомісткими для проведення ремонту є компресори, насоси, вентилятори, газові турбіни. Для їхнього відновлення використовують найновітніші технології й технологічне оснащення ремонтних виробництв. Ремонт газових балонів під зріджений газ є специфічний, і передбачає застосування активних методів дефекації.

В умовах сьогодення, як ніколи раніше, виникає потреба в нейтралізованому ремонтному виробництві, яке має виконувати якісний ремонт із застосуванням досконалих методів і способів відновлення деталей і агрегатів. Поповнювати експлуатаційників систем газозбереження запасними частинами необхідно шляхом виготовлення їх силами ремонтно-механічних підприємств газоенергетики.

Під час проектування ремонтно-механічних підприємств газової промисловості особлива увага має приділятися організаційним питанням, які можна вирішуватися одночасно із виконанням технологічної частини проекту [43, 47].



До організаційних питань можна вважати питання:

- обґрунтування вибору типу ремонтно-механічного цеху, майстерні, підприємства, виробництва й організаційної форми виконання технологічного процесу ремонту газового обладнання; характеристика розбирально-мийних і дефектувальних процесів; умотивування обраних процесів відновлення деталей і вузлів, а також процесів складання й випробування з урахуванням особливостей об'єкту, що проектується;

- характеристика виробничо-технологічної структури проектного ремонтно-механічного виробництва, його спеціалізація й кооперація;

- організація праці, особливості організації робочих місць, порядок обслуговування, зокрема запчастинами, технологічним оснащенням, матеріалами, а також вирішується питання щодо утилізації відходів технологічного процесу;

- організаційна форма контролю й випробувань як у процесі ремонту, так і під час введення в експлуатацію відремонтованого обладнання й систем газотрубопроводів; обґрунтування технологічної підготовки ремонтного виробництва, організації інструментального й ремонтного виробництва цеху, відділення, ділянки; організація складського господарства та керування цехом, відділенням, зокрема всією ремонтною базою.

Незалежно від серійності виробництва, до проекту входять наступні розділи:

- призначення та склад підприємства або іншої виробничої ділянки (цеху);

- режими роботи й річні фонди часу;

- річна виробнича програма;

- визначення трудомісткості за видами робіт (укрупнено чи за ремонтною складністю);

- розрахування необхідної кількості базового технологічного обладнання й кількості робітників;

- підбір обладнання й визначення виробничих площ;

- визначення потреби щодо головних методів енергозабезпечення виробничих ділянок, цехів;

- проектування допоміжних ділянок, відділів енергетики, механіки, інструментальника тощо;

- проектування лабораторій контролю;

- проектування складів і транспорту;

- визначення складу працівників за списком і складання штатного розкладу;

- базове обладнання та принципи планування виробничих ділянок;
- кошторисно-фінансові розрахунки;
- техніко-економічні показники по виробничій ділянці.

Усе зазначене обумовлює визначення напряму розвитку ремонтно-механічних підприємств, які за рівнем технічного оснащення й технологій не повинні поступатися ремонтним виробництвам машинобудування, а щодо якості ремонту – перевищувати їх за надійністю й безпечністю. Надійність і безпечність трубопровідних систем певною мірою визначаються кількістю аварійних ситуацій. До того ж зменшення кількості аварій з руйнуванням трубопроводів забезпечується широким використанням внутрішньотрубного діагностування, збільшенням обсягу ремонтів, зокрема вибіркових, за результатами діагностування.

У разі значного збільшення парку газового обладнання, насиченості систем газозбереження приладами й пристроями більшість газових ремонтно-експлуатаційних виробництв застосовують агрегатний і агрегатно-вузловий методи ремонту. Це дає змогу під час кооперування й концентрування робіт створити на підприємствах газової промисловості й енергетики ремонтно-механічні підрозділи вузької спеціалізації.

Найближчим часом спеціалізація ремонтних підприємств України буде вдосконалюватися. У сільських районах й невеликих населених пунктах доцільно використовувати універсальні й мобільні ремонтні підрозділи, а на великих газових підприємствах – сучасні ремонтно-механічні бази.

Масове виробництво відновлювання виробів за своєю сутністю є поточним. Робочі місця обладнані згідно із спеціалізацією, ремонт організовано за поточним методом, тобто вироби один за одним розбираються і складаються і т. д. Тільки такий ремонт гарантує повне відновлення проектних можливостей трубопроводу й реальне збільшення термінів його використання. Це найважливіше завдання – підтримування працездатності трубопровідних систем тривалий час – можна вирішити за умови організації внутрішньо-трубної діагностики за новітніми технологіями і використанні для ремонту композиційних матеріалів.

## **8.2 Вихідні дані для проектування ремонтно-механічних підприємств газоенергетики**

Вихідним документом для проектування ремонтно-механічного виробництва, наприклад цеху, є відомість газового обладнання й систем транспортування газу, які обслуговуються із зазначенням їхніх технічних

характеристик (базових розмірів, ремонтної складності тощо). На підставі цих даних розробляється річна програма роботи цеху, яка визначається трудомісткістю ремонтних робіт. Трудомісткість ремонтних робіт, тобто кількість верстатних, верстатно-зварювальних, демонтажних, слюсарно-складальних та інших робіт, необхідних для виробництва, обумовлюється видом і характером ремонтних робіт, виду ремонтovanого обладнання, його розмірами й складністю конструкції. Трудомісткість того чи іншого виду ремонту визначається для кожного об'єкта окремо під час проектування ремонтно-механічних цехів і майстерень на базі практичних даних та може виражатися:

- безпосередньо в годинах, які визначають тривалість ремонту за кожним видом або об'єктом. Такий спосіб застосовується тільки за наявності типових норм витрат часу й тільки під час розрахування невеликих цехів, майстерень, виробництв запасних частин, а також спеціалізованих підприємств;

- кількістю умовних одиниць, прийнятих залежно від ремонтної складності об'єкту; за умовну одиницю приймається встановлена трудомісткість у годинах для кожного виду ремонтної роботи або обладнання, обраного за еталон, наприклад засувка, компресор, ділянка трубопровідної системи. Ця умовна одиниця називається одиницею ремонтної складності або ремонтною одиницею, її розмірність необхідно науково обґрунтувати.

Кількість одиниць ремонтної складності, за якими визначають відповідний номер категорії ремонтної складності об'єкта, встановлюють для кожного об'єкта, порівнюючи складність ремонту того чи іншого обладнання зі складністю ремонту виробу, прийнятого за еталон. Розподіл обладнання за групами ремонтної складності має бути передбачено типовим положенням щодо єдиної системи планово-попереджувальних робіт і експлуатації систем газопостачання [3, 20, 46].

Знаючи трудомісткість одиниці ремонтної складності для певного виду ремонту й номер категорії ремонтної складності будь-якого виробу (агрегату, обладнання, трубопроводу, апарату), можна визначити загальну витрату часу (загальну трудомісткість  $T$ , год) необхідну для виконання певного виду ремонту газового обладнання цього типу за формулою:

$$T = hE_p, \quad (8.1)$$

де  $h$  – трудомісткість ремонтної складності, год.;

$E_p$  – кількість одиниць ремонтної складності (категорія ремонтної складності); для даного типу газового обладнання.

Отриманий таким чином час на виконання цього виду ремонту одного агрегату (системи) певного типу буде витрачатися впродовж усього ремонтного циклу, тривалість якого становить декілька років. Щоб визначити, яка частина цього загального часу буде витрачатися щорічно, потрібно цей час помножити на коефіцієнт циклічності. Коефіцієнтом циклічності ( $K_{\text{ц}}$ ) називається співвідношення якості ремонтів цього виду ( $\Pi_{\text{ц}}$ ), які виконуються протягом циклу, до тривалості ремонтного циклу ( $T_{\text{ц}}$ ):

$$K_{\text{ц}} = \frac{\Pi_{\text{ц}}}{T_{\text{ц}}} \quad (8.2)$$

Якщо, наприклад, тривалість ремонтного циклу становить п'ять років, то для капітального ремонту коефіцієнт циклічності  $K_{\text{ц}} = 1/5 = 0,2$ ; якщо протягом циклу було проведено шість малих ремонтів, то коефіцієнт циклічності малих ремонтів  $K_{\text{ц}} = 6/5 = 1,2$ . Помноживши час, витрачений на виконання цього виду ремонту одиниці обладнання певного типу протягом усього ремонту, отримаємо щорічну витрату часу  $T_r$ , год, для цього виду ремонту одного виробу певного типу, яку можна визначити за формулою:

$$T_r = TK_y = hE_p K_{\text{ц}}. \quad (8.3)$$

Приклад щорічних витрат часу на ремонтні роботи за цією формулою наведено в таблиці 8.1.

Встановлена щорічна витрата часу на ремонт одиниці газового обладнання є вихідною величиною для розрахування кількості ремонтно-механічного обладнання й працівників ремонтного підприємства.

Необхідно зазначити, що одиниця трудомісткості ремонтної складності приймається постійною для всіх типів газового обладнання. Номер категорії ремонтної складності, встановленої для певного типорозміру агрегату (виробу), залишається постійним для всіх видів ремонтних робіт певного типорозміру газового обладнання; його значення різняться тільки для різних типів (розмірів) газового обладнання.

Щоб спростити розрахунки, зазвичай застосовують однакову (середню) категорію ремонтної складності для усіх типорозмірів газового обладнання певного виробництва.

Середні категорії складності ремонту газового обладнання та трубопровідних систем у різних галузях промисловості та комунальних господарствах можуть коливатися у великих межах, наприклад від 7,5 до 14,0. Окрім ремонту обладнання систем газопостачання ремонтно-механічне підприємство (цех) виконує роботи з ремонту опалювальних,

вентиляційних, трубопровідних систем, а також власне технологічного обладнання (зварювальних апаратів, верстатів, пресів, піднімально-транспортних механізмів тощо). Усі ці роботи можуть бути класифіковані так само, як і газове обладнання. Замість визначення витрат часу на ремонт за трудомісткістю та кількістю умовних одиниць для спрощення можна використовувати нормативи сумарних величин витрат на той чи інший вид і розмір трубопроводів. Наприклад, для внутрішніх трубопроводів трудомісткість умовної одиниці приймається в людино-годинах на 1000 м<sup>3</sup> будівлі, а для зовнішніх – в людино-годинах на один гектар території промислового підприємства. Години трудомісткості розподіляються в процентному співвідношенні [5, 39].

Таблиця 8.1 – Трудомісткість одиниці ремонтної складності та щорічні витрати часу протягом п'яти років ( $T_{\text{ц}}$ ) на одиницю газового обладнання десятої категорії ремонтної складності

Найменування ремонтних робіт	Кількість ремонтів за цикл, $P_{\text{ц}}$	Коефіцієнт циклічності, $K_{\text{ц}}$	Трудомісткість умовної одиниці ремонтної складності				Щорічна витрата часу на одиницю обладнання (агрегат)			
			Слюсарно-механічні й розбирально-складальні роботи, $h$ , люд./год	Ремонтно-відновлювальні роботи, $h$ , нормо-год	Інші роботи, $h_{\text{ін}}$ , год	Усього, $h$ , нормо-год	Слюсарно-механічні та розбирально-складальні роботи, $h$ , люд./год	Ремонтно-відновлювальні роботи, $h$ , нормо-год	Інші роботи, $h_{\text{ін}}$ , год	Загальна трудомісткість, $T$
ТО-1	10	0,2	1,00	0,1	–	1,10	20	2,0	–	22,0
ТО-2	8	1,6	0,75	0,1	–	0,85	12	1,6	–	13,6
ТО-3	6	1,2	4,00	2,0	0,1	6,10	48	24,0	1,2	73,2
СР	2	0,4	16,00	7,0	0,5	23,50	64	28,0	2,0	94,0
Р	1	0,2	23,00	10,0	2,0	35,00	46	20,0	4,0	70,0
Всього			44,75	19,2	2,6	66,55	190	75,6	7,2	272,8

*Примітка. Прийнята норма часу на очищення або промивання 0,35 люд./год, на випробування – 0,4 люд./год.*

Встановивши щорічну витрату часу на ремонт одиниці газового обладнання та знаючи кількість обслуговуваного ремонтом обладнання певного

виду (турбіни, компресора, насоса, вентилятора тощо), можна підрахувати річну витрату часу ( $T_N$ ) на ремонт усього обладнання цього виду у годинах:

$$T_N = T_r N = h E_p K_{ц} N, \quad (8.4)$$

де  $T_r$  – щорічна витрата часу на ремонт одиниці обладнання певного виду, год.;

$N$  – кількість одиниці обладнання певного виду, обслуговуваного ремонтом.

Обсяг ремонтних робіт протягом року для всієї кількості обладнання певного виду визначають за формулою:

$$Q_E = E_p K_{ц} N, \quad (8.5)$$

де  $Q_E$  – загальний річний обсяг, виражений кількістю одиниць ремонтної складності, може бути базовим для визначення кількості технологічного обладнання ремонтно-механічного цеху, а також чисельності працівників та інших розрахунків.

### 8.3 Склад ремонтно-механічного підприємства

Склад ремонтно-механічного підприємства газових і енергетичних виробництв обумовлюється обсягом виконуваних робіт. Найбільше виробничих підрозділів (відділів, ділянок) мають підприємства, які здійснюють капітальний ремонт газового обладнання великих регіонів. До складу ремонтно-механічних підприємств входять основні та допоміжні відділення, ділянки, служби, а також службові й побутові приміщення, промислові майданчики.

До основних виробничих підрозділів ремонтно-механічного підприємства, що здійснює ремонт газового обладнання, належать приймально-здавальні (комплектувальні) відділення, розбирально-мийна й дефектувальна, заготівельна, ковальсько-пресова, зварювальна, механічна, трубна, прецизійна, електромеханічна, складальна й ізолювальна ділянки та інші відділення.

Допоміжні підрозділи ремонтно-механічного підприємства обслуговують робочі місця та основне технологічне обладнання, тобто основне ремонтне виробництво. До нього належать також відділення або ділянки енергетика, механіка, інструментальника, а також склад ремонтного фонду, склади матеріалів, запасних частин, технологічного оснащення,

служби й засобів транспортування матеріалів, напівфабрикатів і готових виробів.

На розбирально-мийній ділянці виконують розбирання, попереднє й завершальне миття, очищення агрегатів і деталей систем газопостачання. Тут також здійснюється дефектування. На великих ремонтних підприємствах розміщується контрольно-сортувальна ділянка, де контролюють і сортують деталі на придатні й такі, що потребують відновлення, а також призначають маршрути для відновлення деталей. Цю ділянку зазвичай називають ділянкою дефектування.

Ділянка комплектування деталей за маршрутами відновлення призначена для зберігання й обліку деталей, які потребують відновлення. Тут також комплектують партії за маршрутами технологічного процесу ремонту.

Складальний відділ становить низка ділянок, наприклад комплектувальна й слюсарно-підготувальна. Тут зберігаються придатні й відновлені деталі, здійснюється селективне підбирання й складання окремих вузлів, слюсарно-припасувальні роботи, підбирання деталей для складальних ділянок і транспортування їх на місце складання.

У виробничий підрозділ відновлення також включають такі ділянки, як гальванічна, пластмасова, прецизійна.

На ковальсько-пресовій ділянці деталі виправляють і відновлюють за допомогою методу пластичних деформацій; розбирають і складають вироби, замінюють окремі частини, згинають, зварюють труби, листи та елементи.

Особливе місце в практиці ремонту трубопроводів посідає зварювальна ділянка, де зношені деталі відновлюють шляхом зварювання: ручним газовим, електродуговим, вібродуговим, під шаром флюсу та в середовищі вуглецевого газу природним газом, газовим різанням і наплавленням. Ці ділянки організовують у підрозділах, які ремонтують підземні трубопроводи і здійснюють протикорозійний захист. На великих ремонтно-механічних підприємствах існують гальванічні підрозділи, де зношені деталі відновлюють за допомогою хромування й хімічного нікелювання; виготовляють захисні покриття, а також здійснюють ремонт за допомогою паяння.

Існують також металізаційні ділянки, де зношені деталі відновлюють шляхом металізації. На термічних ділянках виконують знімання технологічних напружень під час ремонту, термічну обробку в муфельних і шахтних печах, а також струмами високої частоти.

Слюсарно-механічні ділянки використовують для виконання холодного ручного та механічного оброблення деталей і підкладок. Тут також

притирають корки, розподільники, крани й іншу ущільнювальну арматуру. Є також ділянки нестандартного обладнання.

До складу допоміжних виробництв входять інструментальна й інші ділянки, які призначені для обслуговування технологічного ремонтного виробництва.

На інструментальній ділянці виготовляють і відновлюють інструменти й пристосування, заточують увесь різальний інструмент, зберігають і видають пристосування й інструменти.

На ремонтно-механічній ділянці відділу головного механіка обслуговують і ремонтують основне технологічне обладнання й сантехнічні установками; виготовляють нестандартне обладнання.

Електричні прилади й обладнання ремонтуються на спеціально організованій електроремонтній ділянці. Тут здійснюють догляд за електросиловими, освітлювальними й компресорними установками й мережами, ремонтують електродвигуни, засоби електро- й корозійного захисту та діагностування.

Ремонтно-будівельна ділянка призначена для обслуговування й ремонту водопроводу, каналізації, печей, будівель і споруд.

Допоміжні відділення й склади – це склад матеріалу, склад запасних частин, проміжний склад, інструментально-роздавальна комора, заточувальна майстерня, експедиція тощо. Службові й побутові приміщення: контора цеху, гардеробна, вбиральні, умивальні, душові, кімнати для прийняття їжі тощо.

Склад основних і допоміжних відділень може змінюватися залежно від виробничої потужності газового й енергетичного господарства та обсягу ремонтних робіт, які виконуються ремонтно-експлуатаційним підрозділом газової промисловості. У невеликих ремонтно-механічних цехах деякі відділення об'єднують, а у великих, навпаки, відокремлюють. Так, замість електроремонтного відділення для великих цехів проектуєть окремих електроремонтний цех. Термічне й ковальське відділення організують тільки при ремонтно-механічних цехах; іноді їх об'єднують тільки для інструментального й ремонтно-механічних цехів. У інших випадках термічну обробку й виготовлення викувок здійснюють у відповідних цехах господарства. Зварювальне, трубопровідне й котельне відділення іноді об'єднують в окрему зварювально-монтажну ділянку. На деяких газових і енергетичних виробництвах запроваджується предметна спеціалізація, наприклад служба ремонту газопроводів, служба внутрішньодомового



газового обладнання тощо. Усе це враховується під час проектування ремонтно-механічних підприємств газової промисловості.

#### **8.4 Базові складники проекту ремонтно-механічного підприємства**

Залежно від кількості номенклатури і складності газового обладнання, довжини газотранспортних трубопроводів, а також споруд на них створюються певні структури ремонтних баз. У місцях з невеликим обсягом ремонтних робіт організовують ремонтно-експлуатаційні стаціонарні або пересувні майстерні. Мобільність цих виробництв, якість і тривалість ремонту визначаються низкою факторів і, насамперед, технічним оснащенням і наявністю досвідчених спеціалістів-ремонтувальників.

Щоб спростити дослідження питань, пов'язаних з проектуванням ремонтно-механічних баз газоенергетики, розглянемо загальний порядок проектування цих виробничих підрозділів на прикладі цехів. Необхідно пам'ятати, що для успішного розроблення проекту цеху в заданий термін необхідно скласти календарний план проектних робіт. Такий порядок забезпечує можливість прискорення процесу проектування. Важливо, що проектування на тому чи іншому його етапі зумовлює можливість диференціації робіт, послідовного та паралельного виконання окремих його частин. З цією метою календарний план виконання проектних робіт зручно зображати у вигляді графіків, які дають змогу прослідкувати процес усього проектування й визначати послідовність стадій проектування.

Проект ремонтно-механічного цеху можна розподілити на такі етапи:

- завдання на проектування та виробнича програма цеху;
- технологічна й проектно-конструкторська частини проекту зі здійсненням розрахунків;
- розрахункова частина проекту стосовно ремонтно-механічного цеху;
- план розташування обладнання і загального компонування цеху із розробленням основних даних для проектування будівельної частини, вентиляційних систем тощо;
- план транспортування, тобто технологічний маршрут;
- розроблення завдань для проектування енергетичної, санітарно-технічної та інших спеціальних частин проекту;
- організація виробництва й керування цехом;
- розгляд питань охорони праці, протипожежної техніки й екологічної безпеки;

- економічна частина проекту, зокрема визначення техніко-економічних показників;
- оформлення пояснювальної записки до проекту (зі схемами, графіками, розрахунками).

## **8.5 Етапи проектування ремонтно-механічних підприємств**

Розроблення проекту ремонтно-механічного підприємства є важливим і складним завданням, і якому бере участь багато кваліфікованих інженерно-технічних робітників різних спеціальностей, тому для забезпечення кращої організації роботи, якості проекту й мінімальних витрат проектування здійснюється у два етапи: технічний проект, а на його підставі (після затвердження) – проектування робочих креслень. Розроблення проекту в один етап допускається у тому разі, якщо для вирішення питань про вибір майданчика для будівництва, джерел і способів водо- й енергопостачання проектованого об'єкта, а також про вибір основних, технічних рішень не потрібно буде попередньо виконувати проектні й дослідні роботи, оскільки вже є аналогічні рішення у вигляді відповідних типових чи рекомендованих для повторного застосування індивідуальних проектів або застосовується досвід проектування аналогічних об'єктів ремонтних баз газової промисловості. Під час розроблення технічного проекту необхідно визначити склад ремонтно-механічного підприємства і, у разі доцільності, уточнити його потужність: забезпечити правильний вибір майданчика для будівництва, джерел і способів постачання проектованого об'єкта водою, паливом, теплом, газом і електроенергією, визначити основні технологічні й будівельні рішення та методи будівництва проектованого підприємства, а також транспортні шляхи. До складу технічного проекту входять технологічна, енергетична, будівельна, кошторисна й техніко-економічна частини. Провідна частина проекту – технологічна, оскільки правильність вирішення всіх інших частин і техніко-економічних показників проекту насамперед обумовлюється якістю вирішення технологічної частини. Провідним проектувальником є проектна організація, яка розробляє технологічну частину проекту (рис. 8.1).

Технологічна частина включає розрахування за уточненими показниками або за технологічним процесом кількості працівників, технологічного ремонтного обладнання й оснащення, запасів складів, площ, витрат повітря, виробничої води й пари, електроенергії, газу й кошторисної

вартості обладнання, виробничого інвентарю, дорогих пристосувань й інструментів; компонування й план розміщення обладнання з докладною специфікацією. За енергетичною частиною розраховують мережі й потужність трансформаторної підстанції. Вирішують питання щодо влаштування транспортних засобів і доріг.



Рисунок 8.1 – Перелік основних робіт, які виконуються на ремонтно-механічному підприємстві під час модернізації обладнання

Кошторисна частина включає складання кошторису за всіма частинами проекту, за винятком технологічної, зведеного кошторису, проекту організації будівництва.

Техніко-економічна частина становить аналіз зведеного кошторису й визначення основних фондів за групами; зіставлення калькуляції собівартості продукції, що випускається; зіставлення техніко-економічних показників і їхній аналіз порівняно з показниками аналогічних діючих підприємств або з показниками інших затверджених проектів.

Будівництво будівель і споруд, а також монтаж обладнання здійснюються за робочими кресленнями. Робочі креслення розробляються відповідно до затверджених технічним проектом вимог і уточнень, передбачених у протоколі затвердження.

До початку розроблення робочих креслень замовник повинен отримати від організації, на яку покладено комплектування обладнання для будівництва,

підтвердження можливості поставки обладнання, передбаченого технічним проектом, своєчасно повідомити про це проектну організацію і надати їхні вихідні дані щодо замовленого технологічного обладнання (верстати, зварювальні апарати, преси тощо). Під час проектування виробничих будівель необхідно передбачити протипожежні заходи, встановлені нормами, нормативно-технічною документацією, стандартами, протипожежними вимогами, основними положеннями проектування.

Виробництва ремонтно-механічних та інших підприємств щодо пожежної небезпеки поділяються на п'ять категорій – А, Б, В, Г і Д. До категорії А належать хімічні виробництва, що виробляють, обробляють або застосовують газоподібні речовини, легкозаймисті рідини тощо.

## 8.6 Визначення необхідної кількості технологічного обладнання

Кількість заготівельних, металорізальних верстатів, зварювального, ковальсько-пресового та іншого обладнання ремонтно-механічного виробництва можна визначити двома способами:

- за видами ремонтних робіт щодо кожної одиниці газового й іншого обладнання, передбаченого програмою, а також за кількістю одиниць обслуговуваного обладнання газопостачання регіону;

- за відсотковим співвідношенням технологічного ремонтного обладнання ремонтно-механічного складника до кількості ремонтного газового обладнання й трубопровідних систем. Такий спосіб застосовують в разі укрупненого проектування.

На підставі показника трудомісткості ремонту за видами робіт можна встановити річну витрату часу на станково-машинну роботу для ремонту всієї кількості газового й енергетичного обладнання кожного виду, наприклад, металорізального  $N_1$ , ковальського –  $N_2$ ,  $N_3$  і т. д. Позначивши річну витрату часу відповідно через  $T_{N_{1\text{ст}}}$ ,  $T_{N_{2\text{ст}}}$ ,  $T_{N_{3\text{ст}}}$  і т. д. і підсумувавши ці величини, отримаємо сумарну річну витрату часу на верстатну роботу для ремонту обладнання усіх видів, тобто

$$T_{\sum N_{\text{ст}}} = \sum_1^n T_{\text{ст}} N = \sum_1^n h_{\text{ст}} , T_h K_c N = \sum_1^n h_{\text{ст}} Q_c , \quad (8.6)$$

де  $n$  – кількість видів обладнання, наприклад металорізального, ковальського, зварювального, гальванічного тощо;

$Q_c$  – сумарна кількість одиниць ремонтної складності.

Під час розрахування необхідної кількості верстатів та іншого технологічного обладнання для ремонтно-механічного цеху необхідно врахувати виконання цих та інших додаткових робіт. Для цього сумарну щорічну витрату часу ремонту всього газоенергетичного обладнання збільшують на відповідний відсоток залежно від обсягу та умов робіт, наприклад на 10–20 % і більше (аж до 50 %). На підставі загальної витрати часу на виконання усіх ремонтно-відновлювальних робіт ремонтно-механічним цехом і усіма ремонтними базами, визначають необхідну кількість верстатів  $S$  за аналітичною формулою:

$$S = \frac{T_{\sum N_{\text{ст}}}}{F_d m \eta_3}, \quad (8.7)$$

де  $T_{\sum N_{\text{ст}}}$  – сумарний час на верстатну роботу протягом року для ремонту усього газового й енергетичного обладнання регіону, год.;  
 $F_d$  – розрахунковий річний фонд часу роботи верстата, год.;  
 $m$  – кількість змін роботи ремонтно-механічного цеху;  
 $\eta_3$  – коефіцієнт завантаження верстатів ремонтно-механічного цеху, середня величина якого зазвичай обирається в межах 0,75–0,80.

Отриману загальну кількість технологічного обладнання ремонтно-механічного цеху розподіляють за типами, використовуючи дані дослідних ремонтних виробництв газоенергетики (табл. 8.2).

Таблиця 8.2 – Кількість обладнання певних типів відповідно до загальної кількості

Найменування обладнання	Процент щодо загальної кількості
Токарно-гвинторізальне й револьверне	20–30
Свердлильне	3–4
Фрезерне	6–7
Шліфувальне	5–4
Стругальне й довбальне	3–4
Заготівельне	2–3
Відрізне	3–4
Електрозварювальне	10–12
Газозварювальне	8–10
Ковальсько-пресове	20–15
Інше	20–21

Загальна кількість заготівельних, трубозгинальних, металорізальних та інших верстатів, зварювальних апаратів, процесів ремонтно-механічного цеху й цехових ремонтних баз під час укрупненого проектування іноді визначають у відсотковому співвідношенні до кількості одиниць обслуговуваного ремонтом газового обладнання, до того ж відсоток обирають залежно від виду виробництва (за середньої категорії ремонтної складності газового обладнання – від 10 % і вище). Окрім верстатного обладнання для механічного оброблення й верстатів для слюсарних і розбирально-складальних робіт, у ремонтному цеху повинно бути обладнання для виконання котельно-зварювальних, трубопровідних, ковальських, ізолювально-захисних й електротехнічних робіт. Типів й кількість технологічного обладнання для цих відділень обирають за характером та обсягом робіт.

Для котельно-зварювального відділення потрібне таке обладнання: електрозварювальні апарати для електричного й газового зварювання, трубозгиначі, вальці для виправлення і згинання листового заліза, згинальні пристрої та шаблони, свердлильні верстати, плити правильні, верстати. Таке обладнання для котельних робіт, як згинальна машина, діропробивні преси й комбіновані преси, ножиці тощо, доцільно встановлювати тільки за наявності великої кількості відповідних робіт; для ковальських відділень ремонтно-механічних цехів – молоти повідневі, пневматичні, печі нагрівальні, горна, ковадла, плити, баки для термообробки під воду та масло тощо.

Для піднімання й транспортування матеріалів, заготовок і відремонтованого обладнання у цеху встановлюють почінні кран-балки, мостові крани, поворотні консольні крани, тельфери на монорельсових шляхах, а також використовують електричні візки. Почінні кран-балки й мостові крани, що встановлюються в прогонах верстатного й зварювально-монтажного відділення, одночасно обслуговують демонтажне й слюсарно-складальне відділення в разі розташування останнього в подовжених прогонах верстатного відділення. У разі якщо складальне відділення в прогонах розташоване перпендикулярно до верстатних прогонів, у складальному встановлюють свої мостові крани. Балочні крани використовуються також у відділеннях гарячої обробки цеху. Поворотні консольні крани встановлюють у місцях вузлового й загального складання й розбирання ремонтного обладнання (наприклад компресорів, насосів, арматури). У деяких верстатах на додаток до балочних або мостових кранів обладнують рольганги й стенди. Вантажопідйомність почінних кран-балок становить 1–5 т, мостових – 10–30 т. Вантажопідйомність місцевих поворотних, консольних кранів, електричних талей не перевищує 2,0 т (залежно від маси окремих деталей, вузлів та цілих виробів, які надходять у ремонт).

Кількість мостових і балочних кранів визначають із розрахунку один мостовий або балочний кран на 40–60 м довжини прогону, кількість місцевих поворотних кранів – за обсягом виконаних на них робіт і умов планування робочих місць. Достатньо буває одного крану на одно-два розбирально-складальних місця.

Для транспортування матеріалів, деталей і частин ремонтowanego обладнання використовують також електричні візки, зазвичай по 2–4 шт. на цех, із постійною та підйнятною платформою.

### **8.7 Визначення площ цеху та їхнє планування**

У разі детального проектування площі відділень і ділянок ремонтно-механічного цеху визначають на підставі розрахунку за елементами, тобто підсумовуючи площі за нормами під кожен верстат, прес, зварювальний пост тощо. Під час укрупненого проектування розмір площі встановлюють за площею, яка припадає на одного робітника, а для слюсарних і розбирально-складальних відділень – за відсотками співвідношення площ відділень цеху або майстерні за нормативами галузі.

Верстатний, ковальсько-пресовий та інші відділень цеху плануються за технологічним процесом або за типами обладнання із дотриманням предметної спеціалізації ремонтного виробництва. У такому разі необхідно на одному прогоні розмістити верстати приблизно однакового розміру. Отже, великі верстати мають бути розміщені в одному прогоні, середні – в другому, а дрібні – в третьому. За такого розташування краще використовувати кранове обладнання, яке встановлюється в прогонах із великими й середніми верстатами. Під час розміщення верстатів розміри проміжків між ними, переходів і проїздів мають бути такими самими, як і в механічному цеху. Виробнича площа цеху, яка припадає на один основний верстат, у середньому становить 25–30 м<sup>2</sup>.

Демонтажне відділення, призначене для розбирання й промивання газового та енергетичного обладнання, що надходить на ремонт, розташовується на початку цеху, оскільки обладнання насамперед розбирається й промивається. Цей відділ потрібно розташовувати в тих прогонах, у яких встановлено великі верстати й мостові крани, які одночасно обслуговують прогони механічного й демонтажного відділень. Із огляду на це демонтажні відділення розташовують перпендикулярно до двох або декількох прогонів.

Площа демонтажного відділення може бути визначена залежно від кількості ремонтованих машин або агрегатів, які розбираються одночасно, ширини проходів та проїздів для транспортних засобів; вона дорівнює сумі габаритних площ виробів, що розбираються одночасно, помноженій на коефіцієнт, який враховує проходи та місця розташування деталей під час їхнього розбирання і приблизно дорівнює 2,5. Площа становить 20–25 % від площі слюсарно-складального відділення або 15–20 % від площі верстатного відділення. Оскільки заздалегідь встановити розміри й кількість ремонтного обладнання складно, площу для його розбирання й промивання зазвичай визначають без детального планування та підрахування у вказаній відсотковій величині від площі слюсарно-складального або верстатного відділення.

У слюсарно-складальному відділенні відводять місце для верстатів слюсарної обробки й складання вузлів, яка виконується на верстаках або столах, і для загального складання ремонтованих вузлів газового обладнання й трубопровідних елементів газопостачання.

Площу слюсарно-складального відділення можна визначати на підставі планування всіх указаних робочих місць, обладнання, пристроїв, а також проходів та проїздів, які відповідають застосовуваним транспортним засобам. Отримана таким чином виробнича площа, яка припадає на одного робітника, залежно від характеру і розмірів ремонтованих машин коливається у межах 25–30 м<sup>3</sup>, а там, де ремонтується великогабаритне газове обладнання, ці норми можуть бути збільшені.

Площу слюсарно-складального відділення можна також визначити за кількістю одиниць обладнання, яке одночасно може перебувати на капітальному ремонті, беручи до уваги розміри ремонтного газового й енергетичного обладнання, де площа на одиницю обладнання середніх розмірів зазвичай становить 25–35 м<sup>3</sup>.

Площа монтажного відділення з випробувальною і фарбувальною ділянками здебільшого становить 65–70 % площі механічного й зварювального відділень. Це відділення розташовується в подовжених прогонах механічного відділення або в прогоні, перпендикулярному до прогонів механічного відділення. У першому випадку складальне відділення обслуговується тими самими кранами, що й механічне, а в другому – у складальному відділенні встановлюється інший мостовий кран. Другий спосіб розташування складального відділення застосовують тільки у великих ремонтних цехах.

Загальна питома площа ремонтно-механічного цеху у середньому становить 36–46 м<sup>2</sup> на одиницю основного обладнання ремонтно-механічного



цеху. У цій нормі не враховано термічне, ковальське, електроремонтне, трубопровідне відділення, конторсько-побутові приміщення.

Поруч із демонтажним відділенням, на початку цеху й перпендикулярно до наступних прогонів розташовується склад деталей, які необхідно відремонтувати, а також склад матеріалів і заготовок із заготовчим відділенням.

У кінці механічного відділення, перед складальним, розташовується проміжний склад, у якому зберігаються готові змінні деталі й запасні частини – комплектувальне відділення.

Під час загального планування цеху необхідно враховувати те, що його відділення повинні розташовуватися відповідно до послідовності ремонтних операцій. Цього можна досягнути, якщо розташувати відділення цеху за такою схемою:

- демонтажне відділення, склад деталей, які необхідно відремонтувати, і склад матеріалів із заготівельним відділенням розташовують на початку цеху, перпендикулярно до прогонів;
- верстатне відділення розміщують в паралельних прогонах;
- проміжний склад – перпендикулярно до прогонів;
- слюсарно-складальне відділення може бути сплановано за одним із вказаних вище способів.

Склад зварювального дроту, електродів, флюсів, захисних газів, інструментально-роздавальний склад і заточувальне відділення по змозі необхідно розташовувати так, щоб вони займали центральне положення відносно інших відділень і ділянок цеху.

Приблизне відсоткове співвідношення розмірів площ відділень ремонтно-механічного цеху та його площі, зайнятої верстатами, а також площ ділянок слюсарно-складального відділення й загальної площі цього відділення, має бути таким: демонтажно-дефектувальне – 15–20 %; зварювальне, слюсарно-складальне, включаючи фарбувальну, випробувальну ділянки й експедицію – 45–50 %; склад заготівель і металу із заготівельним відділенням – 5–10 %; проміжні склади – 7–12 %; склади напівфабрикатів, ремфонду та інструментально-роздавальні – у межах 5–15 %. Випробувальні дані свідчать про те, що зварювально-монтажні й складальні приміщення у відсотках до загальної площі цих виробництв становлять: загальне складання – 60–70 %; вузлове складання-монтаж – 20–25 %; випробувальне відділення – 6–10 %.

Усі відділення гарячого оброблення, у яких можуть виділятися шкідливі гази – трубозварювальні, бляшанково-мідницькі, ковальня – необхідно зосереджувати в одному прогоні великої висоти, який має вогнетривке

перекриття й відокремлення від іншої частини цеху капітальною стіною. Площа цих відділень визначається на підставі планування обладнання й робочих місць. Укрупнено площа визначається за питомими площами знімання готової продукції за рік з 1 м<sup>2</sup> площі підлоги площі ковальського або термічного відділення (0,8–1,2 т) або за відсотковим співвідношенням площ відділень гарячого оброблення до загальної площі механічного й зварювально-складального відділень цеху, яка для бляшано-мідницького відділення приблизно становить 1,0–1,5 %, котельно-зварювального – 5–7 %, трубопровідного – 4–5 %, відділення металопокриттів – 2,5–3 %, ковальського – 3,5–5 %. Площі складів визначаються так само, як і площі складів механічного цеху, або приймаються із розрахунку 1–2 т на один основний верстат ремонтно-механічного цеху; комори – 0,3–0,5 т на один основний прес, зварювальний апарат, верстат цеху.

### **8.8 Робочий склад цеху та визначення його чисельності**

До робочого складу ремонтно-механічного цеху входять виробничі й допоміжні робітники, обслуговуючий персонал і службовці, тобто інженерно-технічний та інший персонал, включаючи керівництво цеху.

До складу виробничих робітників входять робітники-верстатники, зварювальники, заготівельники, слюсарі слюсарно-складальних робіт і робітники інших основних відділень цеху: трубозварювального, бляшаного, трубопровідного, ковальського тощо.

Під час детального проектування кількість робітників-верстатників визначають за тією самою формулою, що й для розрахунку кількості верстатників, слюсарів та інших відділень цеху: обслуговуючий персонал – 1–1,5 %, інженерно-технічний – 9–12 %, інший персонал та службовці – 1,5–2,5 % від загальної кількості основних робочих.

### **8.9 Визначення величин технологічних витрат у проектуваному цеху**

Для виконання річних виробничих програм ремонтно-механічного цеху з ремонту газового й енергетичного обладнання необхідно визначити потребу щодо основних, допоміжних матеріалів і енерговитрат.

Основними матеріалами, необхідними для проведення ремонтних робіт у ремонтно-механічному цеху, є труби, пруткове й листове вальцювання, виливання, штампування, ізолювально-захисні матеріали, зварні напівфабрикати, арматура, гумові та гумовотканинні рукави, інгібітори тощо. Річна потреба щодо основних матеріалів для кожного цеху визначається за кількістю виробів, що випускаються, деталей для них і за масою заготівель на підставі креслень й специфікацій або за дослідними даними газових і теплоенергетичних господарств.

Під час визначення вартості матеріалів, необхідних для виконання річної виробничої програми цеху, на підприємствах складають матеріальні відомості щодо основі даних за кожним цехом. Вартість матеріалів раніше визначалася за цінами постачальників нарахування транспортних витрат, що становили приблизно 4–5 % від вартості матеріалів. При цьому необхідно враховувати повернення частки витрат на відходи, які пізніше використовуються. У наш час, коли визначальним є ринкові умови, застосовується інший підхід.

Допоміжними матеріалами є притиральні сполуки, мастила, фарба, ізолювальні матеріали, змащувально-охолоджувальні та мийно-очищувальні засоби, ґрунти, флюси й гази, флюси для прилютовування. Технологічними матеріалами є зварювальні дроти, електроди, жужелі, гази, електроліти, інгібітори корозії тощо. Потребу щодо допоміжних матеріалів визначають виходячи з практично встановлених норм витрат на один верстат або на одного робітника. Витрати на допоміжні матеріали, як і на основні, визначаються за цінами забезпечувальних організацій. У разі застосування розрахунків вартість допоміжних матеріалів зазвичай приймають у відсотковому співвідношенні до вартості основних матеріалів (приблизно 2,5–4 % залежно від характеру ремонтного виробництва).

Річну потребу щодо енергії усіх видів і палива для технологічних цілей визначають за нормативно-технічною документацією галузі.

Витрати на електроенергію, яка витрачається протягом року, грн, становлять:

$$S_e = S_k \cdot W \text{ грн}, \quad (8.8)$$

де  $S_k$  – вартість кВт·год електроенергії, грн.;

$W$  – річна потреба щодо електроенергії, кВт·год.

Витрати на стиснене повітря, яке споживається протягом року, грн, складають

$$S_{\text{ст.п}} = S_{\text{мст}} \cdot Q_z, \quad (8.9)$$

де  $S_{\text{мст}}$  – вартість 1 м<sup>3</sup> стисненого повітря, грн.;

$Q_z$  – річна потреба щодо стисненого повітря, м<sup>3</sup>.

Витрати на воду, яка споживається протягом року, грн.

$$S_{\text{в}} = S_{\text{мв}} \cdot Q_{\text{в}}, \quad (8.10)$$

де  $S_{\text{мв}}$  – вартість 1 м<sup>3</sup> води, грн.;

$Q_{\text{в}}$  – річна потреба щодо води, м<sup>3</sup>.

Витрати на пару, яка споживається протягом року для виробничих цілей, а також для опалення та вентиляції, грн.

$$S_{\text{п}} = S_{\text{тп}} \cdot Q_{\text{п}}, \quad (8.11)$$

де  $S_{\text{т}}$  – вартість однієї тони пари, грн. ;

$Q_{\text{п}}$  – річна потреба щодо пари, т.

Витрати на паливо, яке споживається протягом року, грн.

$$S_{\text{пал}} = S_{\text{тпал}} \cdot Q_{\text{пал}}, \quad (8.12)$$

де  $S_{\text{тпал}}$  – вартість однієї тони палива, грн. ;

$Q_{\text{пал}}$  – річна потреба щодо палива, т.

Наведені форму дозволяють визначити річну потребу щодо енергії усіх видів палива для технологічних цілей.

## СПИСОК ДЖЕРЕЛ

1. Технологическое оборудование ГРС / [О. И. Аверьянов, А. И. Кащенко и др.]. – Львов : Политехника, 1991. – 320 с.
2. Многоканальная система оптимального управления / [Е. Е. Александров, Б. И. Кузнецов и др.]. – Киев : Техника, 1995. – 288 с.
3. Сварка и её контроль на магистральных трубопроводах / [Г. С. Андреев и др.]. – Ленинград : Недра, 1973, – 176 с.
4. Большие технические системы, проектирование и управление / [Л. М. Артюшин, Ю. К. Зкатдинов, И. А. Попов и др.]. – [2-е изд., перераб и доп.]. – Киев : Институт военно-воздушных сил. – Харьков : Факт, 1997. – 288 с.
5. Белодворский Ю. М. Утечки газа, их причины и устранение / Ю. М. Белодворский. – Ленинград : Недра, 1968. – 159 с.
6. Богуславский Л. Д. Экономика теплогазоснабжения и вентиляции / Л. Д. Богуславский. – Москва : Стройиздат, 1967. – 352 с.
7. Бородавкин П. П. Подземные магистральные трубопроводы / П. П. Бородавкин. – Москва : Стройиздат, 1982. – 384 с.
8. Интегрированные технологии ускоренного прототипирования и изготовления / под ред. Л. Л. Говажнянского, А. И. Грабченко. – Харьков : Модель Вселенной, 2005. – 224 с.
9. Гордюхин А. И. Газовые сети и установки / А. И. Гордюхин. – Москва : Стройиздат, 1978. – 383 с.
10. Гордюхин А. И. Эксплуатация газовых систем и установок / А. И. Гордюхин. – [2-е изд., перераб и доп.]. – Москва : Стройиздат, 1971. – 304 с.
11. Дубинский Н. М. Автоматические газорегулирующие системы / Н. М. Дубинский. – Киев : Техника, 1976. – 231 с.
12. Дубинский Н. М. Надежность систем газоснабжения / Н. М. Дубинский. – Киев : Техника, 1970. – 215 с.
13. Замятин В. К. Технология и автоматизация сборки / В. К. Замятин. – Москва : Машиностроение, 1994. – 464 с.
14. Замятин В. К. Технология и оснащение сборочного производства машиностроения : справочник / В. К. Замятин. – Москва : Машиностроение, 1995. – 607 с.
15. Автоматизация и современные технологии : Особенности и виды автоматической сборки изделий / В. К. Замятин. – Москва : Машиностроение, 1997. – № 9. – С. 2–8.
16. Иванов Б. И. Очистка металлических поверхностей пожаробезопасными составами / Б. И. Иванов. – Москва : Машиностроение, 1979. – 183 с.
17. Ионин А. А. Газоснабжение / А. А. Ионин. – Москва : Стройиздат, 1975. – 442 с.

18. Технология машиностроения: учебник / [М. Е. Егоров и др.]. – Москва : Высш. школа, 1976. – 534 с.
19. Капцов И. И. Сокращение потерь газа в машиностроении / И. И. Капцов. – Киев : Техника, 1982. – 264 с.
20. Очистка изделий в машиностроении / [Ю. С. Козлов и др.]. – Киев : Техника, 1982. – 264 с.
21. Кошкин К. Т. Технология авторемонтного производства : учебник / под ред. К. Т. Кошкина. – Москва : Транспорт, 1969. – 568 с.
22. Куприянов М. С. Рациональные системы газоснабжения городов / М. С. Куприянов. – Москва : Высш. школа, 1971. – 143 с.
23. Газовая промышленность : Экономические аспекты эксплуатации ГРС и нормирование вопросов / А. А. Кярчес, Р. Р. Аблязина, Н. Н. Петухова. – Ленинград : Недра, 2002. – № 5. С. 7–12.
24. Организация и технология ремонта строительных машин / [Е. К. Малолетков, Л. Ф. Гордеев и др.]. – Москва : Госстройиздат, 1962. – 276 с.
25. Масловский В. В. Оборудование ремонтно-механических предприятий газозенергетики : учеб. пособие / В. В. Масловский. – Харьков : ХГАГХ, 2002. – 173 с.
26. Масловский В. В. Технология обработки на доводочно-притирочных станках : учебник / В. В. Масловский. – Москва : Высш. школа, 1979. – 151 с.
27. В. В. Масловский Справочник по доводочным работам / В. В. Масловский. – Харьков : Прапор, 1985. – 121 с.
28. Масловский В. В. Основы технологии ремонта систем газоснабжения / В. В. Масловский, И. И. Капцов. – Харьков : ХГАГХ, 1999. – 327 с.
29. Молодык П. В. Восстановление деталей : справочник / П. В. Молодык, А. С. Зенкин. – Москва : Машиностроение, 1989. – 480 с.
30. Невлюдов І. Ш. Комп'ютерні технології автоматизованого виробництва : навч. посіб. / І. Ш. Невлюдов, М. А. Бережна. – Харків : Компанія СМІТ, 2007. – 368 с.
31. Невлюдов І. Ш. Основы виробництва електронних апаратів : підручник / І. Ш. Невлюдов. – Харків : Компанія СМІТ, 2008. – 400 с.
32. Невлюдов І. Ш. Основы виробництва електронних апаратів. Типові задачі : навчальний посібник / І. Ш. Невлюдов. – Харків : Компанія СМІТ, 2008. – 400 с.
33. Новиков М. П. Основы технологии сборки машин и механизмов / М. П. Новиков. – Москва : Машиностроение, 1980. – 592 с.
34. Новожилов В. В. Измерение затрат и результатов / В. В. Новожилов. – Москва : Машиностроение, 1967. – 376 с.
35. Одельский Э. Х. Газоснабжение : учебник для вузов / Э. Х. Одельский. – Минск : Высшая школа, 1966. – 336 с.

36. Патрик Л. И. Технология и оборудование для сборки машин в условиях компьютеризированного производства / Л. И. Патрик // ООО СТИН. – Москва : Машиностроение, 1996. – № 5. – С. 7–12.
37. Пешехонов Н. И. Проектирование газоснабжения / Н. И. Пешехонов. – Киев : Техника, 1970. – 128 с.
38. Плоткін Я. Д. Організація і планування виробництва на машинобудівному підприємстві : навч. посібник / Я. Д. Плоткін, О. К. Янушкевич. – Львів : Світ, 1996. – 352 с.
39. Плотников В. М. Регуляторы давления газа / В. М. Плотников. – Ленинград : Недра, 1982. – 234 с.
40. Положение по технической эксплуатации магистральных газопроводов : утв. Министерством газовой промышленности СССР 12 августа 1988 г. – Москва : Недра, 1990. – 78 с.
41. Довідник працівника газотранспортного підприємства / [В. В. Розгонюк, А. А. Руднік, В. М. Коломєєв та ін.]. – Київ : Росток, 2001. – 348 с.
42. Савенко Ю. Н. Энергетический баланс / Ю. Н. Савенко, Е. О. Штейнгауз. – Москва : Госстройиздат, 1971. – 184 с.
43. Сегединов А. А. Инженерные коммуникации в экономике градостроительства / А. А. Сегединов. – Москва : Госстройиздат, 1968. – 168 с.
44. Смирнов В. А. Техничко-економическое обоснование схем газоснабжения / В. А. Смирнов. – Москва : Госстройиздат, 1964. – 188 с.
45. Материаловедение и технология металлов / [Г. П. Фетисов, М. Г. Карпман, В. М. Матюгин и др.] – Москва : Высшая школа, 2000. – 639 с.
46. Дуговая сварка стальных трубных конструкций / [И. А. Шмелева и др.]. – Москва : Машиностроение, 1985. – 232 с.
47. Шур И. А. Газорегуляторные пункты и установки / И. А. Шур. – Ленинград : Недра, 1985. – 345 с.
48. Ремонтные работы на городских газопроводах / [Л. М. Фастов и др.]. – Ленинград : Недра, 1989. – 151 с.
49. Теоретические основы технологии машиностроения: учебник / [А. В. Якимов, Ф. В. Новиков, А. А. Якимова и др.]. – Одеса : ОНПУ, 2002. – 491 с.
50. Технология компрессоростроения : учебник / [Н. А. Ястребова и др.]. – Москва : Машиностроение, 1987. – 336 с.

*Наукове видання*

**КАПЦОВ** Іван Іванович,  
**КОТУХ** Володимир Григорович,  
**ПАХОМОВ** Юрій Васильович

# ***ТЕХНОЛОГІЯ РЕМОНТУ ГАЗОВОГО ОБЛАДНАННЯ І ТРУБОПРОВІДНИХ СИСТЕМ***

**МОНОГРАФІЯ**

Відповідальний за випуск *Р. Б. Ткаченко*

Редактор *О. А. Норик*

Комп'ютерне верстання *І. В. Волосожарова*

Дизайн обкладинки *Г. А. Коровкина*

Підп. до друку 20.05.2016

Друк на ризографі

Зам. №

Формат 60x84/16

Ум. друк. арк. 13,6

Тираж 300 пр.

Видавець і виготовлювач:

Харківський національний університет  
міського господарства імені О. М. Бекетова,  
вул. Революції 12, Харків, 61002

Електронна адреса: [rectorat@kname.edu.ua](mailto:rectorat@kname.edu.ua)

Свідоцтво суб'єкта видавничої справи:

ДК № 4705 від 28.03.2014 р.